

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tuberkulosis (TB) merupakan penyakit infeksi menular kronis yang disebabkan oleh bakteri *Mycobacterium tuberculosis* dan ditularkan melalui udara (*airborne*) saat penderita batuk atau bersin [1]. Penyakit ini memiliki tingkat penularan yang tinggi dan dampak yang serius, sehingga hingga saat ini masih menjadi salah satu penyebab kematian tertinggi di dunia akibat penyakit infeksi [2]. Berdasarkan laporan WHO dalam *Global Tuberculosis Report*, TB bahkan menempati peringkat pertama sebagai penyebab kematian akibat agen infeksius tunggal (*single infectious agent*), dengan jumlah kematian mencapai sekitar 1,23 juta jiwa setiap tahunnya [3]. Meskipun berbagai upaya pengendalian telah dilakukan, laporan tersebut menunjukkan bahwa penurunan angka kematian akibat tuberkulosis secara global dari tahun 2015 hingga 2024 baru mencapai sekitar 29%, yang masih jauh dari target penurunan sebesar 75% sebagaimana ditetapkan dalam strategi End TB tahun 2025 [4]. Kondisi ini mengindikasikan bahwa upaya pengendalian yang ada belum sepenuhnya efektif dalam menekan beban penyakit tuberkulosis, khususnya di negara-negara dengan tingkat insidensi tinggi.

Indonesia merupakan salah satu negara dengan beban tuberkulosis (TB) tertinggi di dunia dan secara konsisten menempati peringkat kedua setelah India [5]. Berdasarkan *Laporan Program Penanggulangan Tuberkulosis Tahun 2023*, estimasi insiden tuberkulosis di Indonesia mencapai sekitar 1.090.000 kasus, sedangkan jumlah kasus ternotifikasi sebanyak 821.200 kasus. Laporan tersebut menyebutkan bahwa sekitar 26% kasus belum ternotifikasi karena belum terjangkau, belum terdeteksi, atau belum dilaporkan [6]. Kondisi tersebut mengindikasikan adanya kesenjangan antara jumlah kasus yang terdeteksi dengan estimasi kasus sebenarnya di masyarakat, yang berpotensi menjadi sumber penularan aktif serta menunjukkan bahwa sistem surveilans tuberkulosis belum sepenuhnya optimal.

Masalah tuberkulosis di tingkat nasional juga tercermin pada tingkat daerah,

termasuk di Provinsi Aceh yang masih menghadapi beban kasus yang tinggi. Berdasarkan data Dinas Kesehatan Aceh tahun 2025, jumlah penemuan kasus tuberkulosis di Aceh sepanjang tahun 2024 tercatat sebanyak 12.656 kasus [7]. Di antara kabupaten/kota di provinsi tersebut, Kabupaten Aceh Utara merupakan salah satu wilayah dengan jumlah kasus yang tinggi, yaitu sebesar 1.129 kasus [8]. Kondisi ini menunjukkan bahwa Aceh Utara merupakan wilayah yang perlu mendapat perhatian dalam upaya pengendalian tuberkulosis. Selain itu, Kabupaten Aceh Utara memiliki jumlah penduduk yang besar, yaitu lebih dari 614.000 jiwa [9]. Dalam kajian epidemiologi, kepadatan penduduk dan intensitas kontak antarmanusia merupakan faktor yang dapat meningkatkan risiko penularan penyakit menular, termasuk tuberkulosis [10]. Oleh karena itu, analisis terhadap pola persebaran kasus tuberkulosis di Kabupaten Aceh Utara menjadi penting dilakukan untuk mendukung perencanaan intervensi yang lebih tepat sasaran.

Keberadaan lebih dari seribu kasus TB di Kabupaten Aceh Utara menunjukkan bahwa beban penyakit di wilayah ini perlu mendapat perhatian. Namun, informasi kasus yang umumnya disajikan dalam bentuk rekapitulasi tahunan, tabel, dan grafik deskriptif masih terbatas dalam menjelaskan pola persebaran kasus antarwilayah maupun kecenderungan perubahannya dari waktu ke waktu secara lebih rinci. Dalam kajian epidemiologi spasial, distribusi kasus tuberkulosis di beberapa wilayah dapat membentuk pola yang tidak acak atau mengelompok [11]. Studi di Provinsi Aceh periode 2019–2021 juga melaporkan adanya autokorelasi spasial serta menemukan 19 klaster kasus tuberkulosis pada tingkat kecamatan [12]. Oleh karena itu, diperlukan analisis spasial pada Kabupaten Aceh Utara untuk menguji ada atau tidaknya autokorelasi spasial serta mengidentifikasi kemungkinan terbentuknya klaster kasus pada tingkat kecamatan.

Data kasus TB di Kabupaten Aceh Utara tidak hanya perlu dianalisis dari sisi persebaran spasial, tetapi juga dari sisi perkembangan temporal untuk melihat kecenderungan perubahan kasus dari waktu ke waktu serta memperkirakan kemungkinan jumlah kasus pada periode mendatang. Informasi tersebut penting karena penyajian data secara deskriptif belum sepenuhnya mampu mendukung perencanaan intervensi yang antisipatif. Dalam konteks tersebut, penelitian ini tidak hanya menganalisis pola persebaran kasus secara spasial, tetapi juga memadukannya dengan peramalan temporal agar diperoleh gambaran yang lebih utuh mengenai kondisi TB di Kabupaten Aceh Utara.

Pada dimensi spasial, penelitian ini menggunakan *Global Moran's I* untuk menguji ada atau tidaknya autokorelasi spasial pada sebaran kasus TB di wilayah kajian [13]. Analisis ini digunakan untuk mengetahui apakah pola sebaran kasus cenderung bersifat acak atau mengelompok. Selanjutnya, *Local Indicators of Spatial Association* (LISA) digunakan untuk mengidentifikasi pola spasial lokal secara lebih rinci, termasuk wilayah yang membentuk kluster berisiko maupun pencilan spasial. Pendekatan ini memungkinkan identifikasi keterkaitan spasial antar kecamatan yang berpotensi luput dari pengamatan apabila hanya mengandalkan laporan administratif standar, sebagaimana ditunjukkan dalam penelitian sebelumnya yang menerapkan *Global Moran's I* dan LISA untuk mengidentifikasi pola spasial kasus tuberkulosis pada tingkat wilayah [14]. Sebelum analisis *Global Moran's I* dan LISA dilakukan, tingkat kejadian kasus pada setiap kecamatan dihaluskan menggunakan pendekatan *Global Empirical Bayes*. Penghalusan ini digunakan untuk mengurangi ketidakstabilan nilai tingkat kejadian pada kecamatan yang memiliki populasi atau jumlah kasus relatif kecil. Dengan demikian, analisis spasial tidak hanya didasarkan pada jumlah kasus mentah, tetapi mempertimbangkan perbedaan jumlah penduduk dan kestabilan tingkat kejadian antarkecamatan.

Pada dimensi temporal, penelitian ini juga mempertimbangkan dimensi temporal melalui penerapan algoritma *Facebook Prophet* atau *Prophet* untuk meramalkan perkembangan jumlah kasus TB dari waktu ke waktu. *Prophet* merupakan metode peramalan deret waktu berbasis model aditif yang dirancang untuk memodelkan tren dan pola musiman secara fleksibel pada data yang bersifat dinamis [15]. Metode ini mampu mengakomodasi perubahan tren serta pola musiman pada data runtun waktu, sehingga relevan digunakan untuk menganalisis kecenderungan jumlah kasus pada periode mendatang [16]. Studi empiris pada penyakit menular, termasuk COVID-19, menunjukkan bahwa *Prophet* dapat digunakan secara efektif untuk memodelkan dan meramalkan tren kasus berbasis data runtun waktu [17]. Selain itu, studi komparatif juga menunjukkan bahwa *Prophet* memiliki kinerja yang baik dalam meminimalkan tingkat kesalahan peramalan pada data yang bersifat dinamis [18]. Dalam penelitian ini, curah hujan, kelembapan, dan suhu diuji sebagai kandidat variabel eksternal melalui beberapa skenario tanpa jeda waktu dan menggunakan jeda waktu (*lag*). Hasilnya kemudian

dibandingkan dengan *Prophet* tanpa variabel eksternal untuk menentukan model terbaik berdasarkan nilai *Mean Absolute Error* (MAE), *Root Mean Squared Error* (RMSE), dan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE). Oleh karena data bulanan pada beberapa kecamatan memiliki jumlah kasus yang rendah dan mengandung nilai nol, peramalan dilakukan terlebih dahulu pada tingkat Kabupaten Aceh Utara, bukan secara terpisah pada setiap kecamatan. Hasil peramalan tingkat kabupaten selanjutnya dialokasikan ke 27 kecamatan menggunakan bobot *Global Empirical Bayes*. Hasil prediksi tahunan setiap kecamatan kemudian dikelompokkan menggunakan *K-Means* menjadi kategori risiko rendah, sedang, dan tinggi berdasarkan tingkat prediksi per 100.000 penduduk.

Hasil analisis spasial, *forecast* tingkat kabupaten, estimasi alokasi *forecast*, dan pengelompokan rate estimasi selanjutnya disajikan melalui WebGIS dalam bentuk peta, grafik, dan tabel. WebGIS digunakan sebagai media visualisasi untuk mempermudah pengguna memahami perubahan pola spasial historis dan perbedaan estimasi antarkecamatan. Dengan demikian, integrasi analisis spasial, peramalan temporal, dan penyajian berbasis WebGIS diharapkan dapat memberikan dasar analitis yang lebih komprehensif dalam mendukung pengendalian tuberkulosis yang terarah, antisipatif, dan berbasis wilayah di Kabupaten Aceh Utara.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pola persebaran dan pengelompokan spasial kasus tuberkulosis di Kabupaten Aceh Utara berdasarkan analisis *Global Moran's I* dan *Local Indicators of Spatial Association* (LISA)?
2. Bagaimana tren pertumbuhan kasus tuberkulosis serta hasil peramalan jumlah kasus tuberkulosis di Kabupaten Aceh Utara menggunakan algoritma *Facebook Prophet*?
3. Bagaimana hasil analisis pola spasial, tren pertumbuhan, dan peramalan kasus tuberkulosis di Kabupaten Aceh Utara dapat disajikan melalui WebGIS dalam bentuk tabel dan peta tematik pada tingkat kecamatan?

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian ini lebih terarah, fokus, dan tidak menyimpang dari pokok permasalahan, maka penulis menetapkan batasan-batasan masalah sebagai berikut:

1. Wilayah penelitian mencakup 27 kecamatan di Kabupaten Aceh Utara.
2. Data yang digunakan meliputi jumlah kasus TB bulanan, jumlah penduduk per kecamatan, serta curah hujan, kelembapan, dan suhu selama tahun 2021–2025.
3. Analisis spasial menggunakan rate hasil *Global Empirical Bayes*, matriks bobot *Queen contiguity*, *Global Moran's I*, dan LISA.
4. Analisis temporal menggunakan Facebook *Prophet* untuk menghasilkan *forecast* kasus TB tingkat Kabupaten Aceh Utara tahun 2026. Variabel iklim diuji sebagai kandidat *external regressor* pada lag 0–4, sedangkan nilai tingkat kecamatan diperoleh melalui alokasi *forecast* kabupaten.
5. WebGIS digunakan sebagai media visualisasi hasil penelitian dan tidak menyajikan data yang diperbarui secara waktu nyata.

1.4 Tujuan Penelitian

Sejalan dengan rumusan masalah dan batasan penelitian yang telah ditetapkan, penelitian ini bertujuan untuk :

1. Menganalisis pola persebaran dan pengelompokan spasial kasus tuberkulosis di Kabupaten Aceh Utara menggunakan *Global Moran's I* dan *Local Indicators of Spatial Association* (LISA).
2. Menganalisis tren temporal serta melakukan peramalan jumlah kasus tuberkulosis di Kabupaten Aceh Utara menggunakan algoritma *Facebook Prophet*.
3. Menyajikan hasil analisis spasial dan peramalan temporal kasus tuberkulosis di Kabupaten Aceh Utara melalui WebGIS dalam bentuk tabel dan peta tematik.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan kontribusi ilmiah dalam pengembangan analisis spasial, peramalan temporal, dan pemanfaatan WebGIS pada kajian tuberkulosis.
2. Menyediakan informasi mengenai pola persebaran spasial dan kecenderungan perkembangan kasus tuberkulosis di Kabupaten Aceh Utara berdasarkan analisis

spasial dan peramalan temporal.

3. Menyajikan informasi kasus, hasil pengelompokan spasial, dan hasil peramalan dalam bentuk WebGIS berbasis tabel dan peta tematik.
4. Menjadi sumber informasi awal bagi pihak terkait dalam memahami perbedaan pola spasial historis, estimasi beban kasus, dan rate estimasi antarkecamatan.
5. Menjadi bahan rujukan bagi penelitian selanjutnya yang mengembangkan integrasi analisis spasial, *forecasting*, dan sistem informasi geografis di bidang kesehatan.