

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Pemodelan data *spatio-temporal* adalah pemodelan data berdimensi ruang dan waktu. Model *spatio-temporal* merupakan model yang mendeskripsikan observasi terhadap fenomena alam dalam dimensi ruang dan waktu (Cressie, 1993). Analisis data Model *spatio-temporal* mempertimbangkan dependensi spasial antara wilayah pengamatan dan korelasi satu atau beberapa lag waktu (Islami et al., 2021).

Penelitian ini membahas masalah jumlah kasus tuberkulosis melalui analisis spatio temporal. Masalah jumlah kasus tuberkulosis merupakan salah satu fenomena alam yang penting untuk diselesaikan mengingat tingginya kejadian tuberkulosis akhir-akhir ini. Analisis spatio temporal dibutuhkan sebagai salah satu upaya pencegahan atau pengurangan terhadap tingginya kejadian penyakit tuberkulosis.

Tuberkulosis (TB) adalah penyakit menular yang disebabkan oleh kuman *Mycobacterium tuberculosis*. Secara global, diperkirakan 9,9 juta orang menderita TB pada tahun 2020. WHO menyatakan bahwa TB menjadi salah satu dari 10 penyebab kematian tertinggi di dunia (WHO 2021). TB merupakan salah satu masalah kesehatan yang sudah lama dihadapi di Indonesia. Indonesia merupakan salah satu negara dengan kasus TB cukup tinggi di dunia. Kontributor TB terbesar pertama dan kedua dalam peningkatan global adalah India dan Indonesia (WHO 2023).

Indonesia mengalami permasalahan Kesehatan yang terus terjadi terkait penyakit TB, hal ini juga tidak lepas pada Provinsi Sulawesi Barat. Sulawesi Barat merupakan provinsi yang menarik untuk diteliti terkait penyebaran TB. Jumlah Kasus TB yang ditemukan di Provinsi Sulawesi Barat berdasarkan hasil evaluasi capaian program penanggulangan TB Sulawesi Barat tahun 2023 jumlah kasus TB mengalami peningkatan dalam 5 tahun terakhir (BPS, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023, 2024).

Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi TB, antara lain faktor demografi, faktor lingkungan dan iklim. Faktor demografi, faktor perilaku, faktor fasilitas Kesehatan, jumlah penduduk kemiskinan, kepadatan penduduk, dan kebiasaan merokok Masyarakat berpengaruh terhadap jumlah kasus TB (Siwiendrayanti et al., 2018). Adapun faktor lingkungan dan Iklim jumlah curah hujan berpengaruh signifikan terhadap jumlah TB (Alipio, 2020; Cao et al., 2016). Sedangkan orang yang memiliki daya tahan tubuh yang terganggu seperti terkena HIV, malnutrisi, diabetes atau orang yang menggunakan tembakau memiliki resiko sakit lebih besar (Ai et al., 2016). Oleh karena itu, diperlukan penelitian sebagai upaya serius untuk mengatasi masalah TB di Sulawesi Barat.

Salah satu metode penelitian spatio-temporal adalah metode pemindaian kulldorff. Metode penelitian ini telah banyak dilakukan di berbagai negara dalam beberapa tahun terakhir, analisis spasial sering diterapkan untuk memahami pola

penyebaran dan distribusi penyakit menular (Piccini et al., 2022; Yue et al., 2018; Rao et al., 2017; Ge et al., 2016; Cao et al., 2016; Endy et al., 2002). Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa distribusi spasial TB bersifat non acak dan mengelompok (Gwittira et al., 2021; Im, 2021; Wang et al., 2012, 2019, 2023). Analisis autokorelasi spasial juga menemukan bahwa kejadian TB sangat mengelompok secara spasial di Kawasan hotspot (Fahdhienie & Sitepu., 2022; Park et al., 2022; Dismer et Al.,2021; Gwitira et al.,2021). Selain menggunakan metode pemindaian kulldorff penelitian ini juga menggunakan transformasi Wavelet untuk membuat hierarki klaster kasus TB pada Provinsi Sulawesi Barat.

Transformasi Wavelet menganalisis data yang memiliki bentuk seperti gelombang dan dapat diukur pada skala yang berbeda. Metode Transformasi Wavelet cocok digunakan untuk data yang frekuensinya berubah seiring waktu karena metode ini dapat mendeskripsikan variabilitas pada *time series* dalam domain waktu dan domain frekuensi (Daubechies et al., 1992; Lau & Weng 1995; Torrence & Compo 1998). Penelitian spatio temporal telah dilakukan beberapa peneliti menggunakan metode Wavelet (Zhang & Ma, 2023; Zhang et al., 2019).

Transformasi Wavelet mendekomposisi data menjadi komponen-komponen frekuensi yang berbeda, kemudian menganalisis data tersebut dalam domain waktu dan frekuensi secara simultan. Komponen yang terdekomposisi dapat dibagi menjadi komponen frekuensi tinggi dan komponen frekuensi rendah. Pembagian komponen frekuensi pada Transformasi Wavelet membuat transformasi tersebut dapat digunakan untuk melakukan klasterisasi dan menganalisis data yang berhierarki atau data dengan multi-skala. Salah satu penelitian yang menggunakan metode Wavelet dalam menentukan klaster telah dilakukan oleh Rouyer et al. (2008). Penerapan Transformasi Wavelet berhierarki terdapat pada penelitian yang dilakukan oleh Beninca et al. (2023), yang mana dalam penelitian tersebut mereka melakukan klasterisasi secara berhierarki berdasarkan tingkatan spektrum pada bakteri.

Analisis dan evaluasi pola *spatio-temporal* di Provinsi Sulawesi Barat pada kasus tuberkulosis sangat penting untuk pengendalian dan eliminasi kasus TB. Selain itu, penelitian terkait kasus TB menggunakan analisis spatio-temporal di Provinsi Sulawesi Barat belum pernah dilakukan. Sejumlah besar penelitian tentang distribusi spasial dan temporal TB telah menunjukkan bahwa TB memiliki dinamika yang sangat kompleks dan heterogen secara spasial di tingkat provinsi, nasional, dan internasional dalam periode waktu tertentu; namun, variasi dalam area kecil selalu diabaikan dengan menggunakan skala yang relatif besar. Berdasarkan hal tersebut, fokus dalam penelitian ini yaitu untuk menggunakan analisis *spatio-temporal* dengan pemindaian *Kulldorff* dan transformasi *Wavelet* untuk mengeksplorasi dinamika spasial temporal dan ruang waktu di Provinsi Sulawesi Barat. Oleh karena itu, penulis tertarik melakukan penelitian dengan judul Analisis *Spatio-Temporal* menggunakan pemindaian *Kulldorff* dan Transformasi *wavelet* Terhadap Kejadian Tuberkulosis di Provinsi Sulawesi Barat.

1.2 RUMUSAN MASALAH

Berdasarkan latar belakang permasalahan, rumusan masalah yang diteliti adalah:

- 1.2.1. Bagaimanakah model matematika data jumlah kasus TB di Provinsi Sulawesi Barat menggunakan metode pemindaian *Kulldorff* ?
- 1.2.2. Bagaimanakah analisis faktor-faktor penyebab kasus TB terhadap jumlah kasus TB di Provinsi Sulawesi Barat ?
- 1.2.3. Bagaimana analisis kejadian TB berdasarkan pola spatio-temporal di Provinsi Sulawesi Barat menggunakan pemindaian *Kulldorff* dan Transformasi *wavelet* ?

1.3 TUJUAN PENELITIAN

Berdasarkan rumusan masalah maka tujuan penelitian ini adalah:

- 1.3.1 Mendapatkan model matematika data jumlah kasus TB di Provinsi Sulawesi Barat menggunakan metode pemindaian *Kulldorff*
- 1.3.2 Mendapatkan analisis faktor-faktor penyebab kasus TB terhadap jumlah kasus TB di Provinsi Sulawesi Barat
- 1.3.3 Mendapatkan analisis kejadian TB berdasarkan pola spatio-temporal di Provinsi Sulawesi Barat menggunakan pemindaian *Kulldorff* dan Transformasi *wavelet*

1.4 MANFAAT PENELITIAN

Adapun manfaat yang diharapkan dalam penelitian ini adalah:

- 1.4.1. Dapat mengetahui kelompok kasus TB berdasarkan spatio temporal di Provinsi Sulawesi Barat.
- 1.4.2. Sebagai bahan refleksi atau masukan kepada petugas kesehatan Provinsi Sulawesi Barat agar dapat memilih strategi penanganan TB berdasarkan tinggi rendahnya kasus TB yang terjadi di Provinsi Sulawesi Barat berdasarkan lokasi dan waktu.
- 1.4.3. sebagai bahan untuk memperoleh dan menambah pengetahuan mengenai pengelompokan data, khususnya metode pemindaian *Kulldorff* dan penerapannya dalam penelitian pada bidang Kesehatan

1.5 BATASAN MASALAH

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

- 1.5.1. Penelitian dilakukan di Provinsi Sulawesi Barat yang terdiri dari 6 Kabupaten dan 69 Kecamatan. Data yang diperoleh dari Badan Pusat Statistik Provinsi Sulawesi Barat dari tahun 2018 hingga 2023.

- 1.5.2. Analisis statistik yang digunakan yakni analisis spatio temporal menggunakan metode *Kulldorff* dan Transformasi *Wavelet Mexican Hat*.
- 1.5.3. Program software dalam penelitian ini menggunakan *SatScan*, *Geoda*

1.6 KAJIAN TEORI

1.6.1. Tuberkulosis

Tuberkulosis adalah penyakit menular yang disebabkan oleh kuman *Mycobacterium tuberculosis*. Kuman tersebut menyebar dari penderita TBC melalui udara (Hulu et al., 2020). Kuman TBC ini lebih sering menyerang organ paru dan biasa juga diluar paru (extra paru). Pada sebagian orang dengan sistem imun yang baik, bentuk ini akan tetap dormant sepanjang hidupnya. Sedangkan pada orang-orang dengan sistem kekebalan tubuh yang kurang, bakteri ini akan mengalami perkembangbiakan sehingga bakterinya bertambah banyak. Sumber penularan tuberkulosis yaitu berasal dari penderita yang belum sembuh atau penderita yang belum memperoleh pengobatan. TB dapat mengancam nyawa dan timbulnya berbagai penyakit fatal lainnya seperti HIV/AIDS, penyakit paru obstruktif dan lainnya (Sejati & Sofiana, 2015).

Meningkatnya penularan infeksi yang telah dilaporkan saat ini, banyak dihubungkan dengan beberapa keadaan, antara lain memburuknya kondisi sosial ekonomi, belum optimalnya fasilitas pelayanan kesehatan masyarakat, meningkatnya jumlah penduduk yang tidak mempunyai tempat tinggal dan adanya epidemi dari infeksi HIV. Di samping itu daya tahan tubuh yang lemah dan jumlah kuman merupakan faktor yang memegang peranan penting dalam terjadinya infeksi TBC (Hulu et al., 2020). Sehingga hampir seperempat penduduk dunia terinfeksi dengan kuman *Mycobacterium tuberculosis*, sekitar 89% TBC diderita oleh orang dewasa, dan 11% diderita oleh anak-anak. Sampai saat ini (Pandemi COVID-19), TBC masih merupakan penyebab kematian tertinggi setelah HIV/AIDS, dan merupakan salah satu dari 20 penyebab utama kematian di seluruh dunia. Indonesia berada pada peringkat ke-2 dengan penderita TBC tertinggi di dunia setelah India. Secara global, diperkirakan 9,9 juta orang menderita TBC pada tahun 2020. WHO menyatakan bahwa TB menjadi salah satu dari 10 penyebab kematian tertinggi di dunia (WHO 2021).

1.6.2. Penyebab Tuberkulosis

Mycobacterium Tuberculosis menular melalui media udara (*airborne*) dari satu orang ke orang lain. Bakteri keluar dari paru-paru dalam bentuk droplet (percikan dahak) ketika penderita TB BTA (+) batuk, bersin, berbicara ataupun bernyanyi. Tuberkulosis ditularkan melalui udara dari percikan dahak yang dikeluarkan oleh penderita TB. Penyakit TB secara patogenesis terdiri atas 2 cara dalam menginfeksi, yaitu tuberkulosis primer dan tuberkulosis sekunder. Tuberkulosis primer merupakan

bakteri TB yang dikeluarkan oleh penderita TB, kemudian terisap oleh orang sehat. Bakteri TB kemudian akan membuat sarang primer pada tubuh orang sehat yang selanjutnya terinfeksi TB dan dapat menimbulkan peradangan. Jika diberi pengobatan pada orang yang terinfeksi TB primer maka orang yang terinfeksi tersebut dapat sembuh, tetapi dengan tipe penyembuhan yang berbeda-beda, yaitu sembuh tanpa meninggalkan cacat, dan sembuh dengan meninggalkan sedikit bekas. Tipe tuberkulosis selanjutnya yaitu tuberkulosis sekunder. Tuberkulosis sekunder merupakan bakteri TB yang aktif kembali setelah bertahun-tahun sembuh dari tuberkulosis primer. Penurunan sistem imun menyebabkan bakteri tuberkulosis primer yang masih tersisa dalam tubuh penderita aktif kembali, kemudian memungkinkan infeksi tersebut menyebar ke seluruh tubuh. Bakteri TB bersifat dorman yaitu sifat kuman yang dapat aktif kembali. Kemunculan tuberkulosis sekunder sekitar 90% (Ichsan & Yunita, 2019)

Saat bakteri masuk ke dalam paru-paru manusia melalui saluran pernapasan, maka bakteri tersebut akan menyebar langsung ke organ-organ tubuh lainnya melalui saluran peredaran darah, saluran nafas, saluran limfe atau menyebar langsung ke organ tubuh lainnya. Banyaknya kuman yang dikeluarkan oleh paru penderita menentukan daya penularan bakteri tersebut. Artinya semakin tinggi derajat positif hasil pemeriksaan dahak penderita maka semakin besar peluang penderita menularkan kuman. Namun, bila hasil pemeriksaan dahak penderita negatif (tidak terdapat kuman), maka penderita tersebut dianggap tidak menular. Kemungkinan seseorang dapat terinfeksi bakteri tuberkulosis dipengaruhi oleh lamanya pajanan/kontak, jumlah kuman yang terhirup, dan konsentrasi percik renik di udara. (Kementerian Kesehatan RI, 2012)

Tidak semua orang yang terinfeksi bakteri tuberkulosis akan menjadi sakit. Bakteri Tuberkulosis dapat bersembunyi di dalam tubuh selama berbulan-bulan dan bahkan bertahun-tahun sebelum membuat penderita sakit dan menunjukkan gejala. Kondisi tersebut disebut dengan tuberkulosis laten. Orang dengan infeksi tuberkulosis laten dalam keadaan yang baik dan tidak memiliki gejala serta tidak dapat menyebarkan bakteri ke orang lain. (New Zealand Ministry of Health, 2016). Risiko penyakit tuberkulosis aktif setelah infeksi tergantung pada beberapa faktor dan yang terpenting yaitu status imunologi. (WHO, 2021).

Faktor-faktor penyebab meningkatnya jumlah TB cukup beragam. Beberapa penelitian yang telah dilakukan sebelumnya menunjukkan terdapat faktor yang mempengaruhi jumlah kejadian TB di antaranya sebagai berikut:

- Perilaku merokok

Merokok dapat mempengaruhi banyak sistem organ, namun paru-parulah yang paling menderita kerusakannya. Merokok merusak paru-paru dan berdampak pada sistem kekebalan tubuh, sehingga membuat perokok lebih rentan terhadap infeksi TBC (Ai et al., 2016). Terjadinya TB telah terbukti berhubungan dengan perubahan respons imun dan berbagai kerusakan pada sel imun seperti makrofag, monosit, dan limfosit

- Kepadatan penduduk

Kepadatan penduduk adalah rasio banyaknya penduduk per kilometer persegi (BPS, 2023). Kepadatan penduduk berpengaruh terhadap jumlah kasus TB, hal tersebut dapat terjadi karena jika kepadatan penduduk tinggi maka peluang kontak terhadap penderita TB lebih besar (Siwiendrayanti et al., 2018). Sejalan dengan itu Kluster TB yang ditemukan di Bandar Lampung pada tahun 2015-2016 memiliki karakteristik determinan sosial yaitu kepadatan penduduk sedang sampai tinggi (Wardani & Wahono, 2020).

- Jumlah penduduk miskin

Jumlah penduduk miskin yang digunakan dalam penelitian adalah jumlah penduduk miskin di provinsi Sulawesi Barat, data dimulai pada tahun 2018-2023. Data jumlah penduduk miskin diperoleh dari Badan Pusat Statistik (BPS). Daerah dengan insiden TB tertinggi di Yunnan adalah daerah perbatasan dengan kondisi ekonomi yang buruk (Wang et al., 2022)
- Jumlah puskesmas

Infrastruktur yang baik dari segi kuantitas dan kualitas perlu ditingkatkan dalam menanggulangi penyakit TB. Pelayanan Kesehatan yang sukar untuk dijangkau dan tidak memadai bisa menimbulkan masalah bagi kesuksesan pengobatan TB. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan Hasibuan et al. (2022) menyatakan bahwa adanya fasilitas yang memadai secara jumlah maupun kualitas akan mengurangi jumlah kasus TB. Salah satu pelayanan Kesehatan yang terdapat di kabupaten adalah puskesmas.
- Jumlah curah hujan

Faktor iklim seperti curah hujan merupakan unsur penting untuk menggambarkan keadaan Kesehatan penduduk. Penelitian yang dilakukan oleh Cao et al. (2016) menemukan bahwa curah hujan memiliki pengaruh signifikan secara statistik (RR, 1.01) dimana kenaikan satu satuan curah hujan, meningkatkan risiko kasus TB baru sebanyak 1.01 satuan.

1.6.3. Metode Pemindaian *Kulldorff*

Metode pemindaian *Kulldorff* merupakan metode yang dikembangkan oleh Kulldorff Tahun 1997 yang berdasar pada dimensi ruang untuk mengidentifikasi suatu kejadian yang tersebar merata di setiap area atau mengalami pengelompokan di suatu area tertentu berdasarkan waktu dan signifikan secara statistik. Definisi lain menyatakan bahwa spatial scan statistics merupakan metode yang mempertimbangkan unsur spasial dalam mengidentifikasi kelompok kejadian yang memiliki risiko tinggi maupun rendah dari suatu kejadian, serta menguji proporsi suatu daerah terhadap daerah yang lain (Camiña et al., 2022). Hotspot didefinisikan sebagai sesuatu yang tidak biasa, penyimpangan, perjangkitan suatu penyakit, gerombol yang tinggi atau disebut juga wilayah kritis (Anjali & Kumar, 2024). Penentuan hotspot pada spatial scan statistics berdasar pada uji rasio kemungkinan (log likelihood ratio/LLR). Untuk mendeteksi hotspot maka dibutuhkan data populasi terkait informasi dari setiap wilayah yang menjadi objek kajian. Prinsip pengujian hipotesis digunakan untuk mendeteksi adanya hotspot. Secara umum, tahapan yang

digunakan untuk menentukan hotspot dalam pengujian statistik spasial temporal, yaitu:

- Menentukan daerah yang diteliti.
- Menentukan nilai data temporal yang digunakan.
- Menentukan data spasial untuk setiap lokasi.
- Membentuk hipotesis H_0 dan H_1 untuk model peluang dari data yang digunakan. Hipotesisnya yaitu :
 - H_0 : Tidak ada pengelompokan kejadian TB
 - H_1 : Ada pengelompokan kejadian TB
- Menghitung log likelihood ratio (LLR) berdasarkan H_0 dan H_1 . LLR merupakan rasio dari fungsi kemungkinan yang mengasumsikan H_1 benar dibandingkan dengan kemungkinan yang mengasumsikan pada H_0 benar.
- Mencari daerah yang potensial. Daerah potensial merupakan pemindaian dengan likelihood tertinggi.

Space-time scan statistics yang pada dasarnya merupakan metode yang berdasar pada distribusi Poisson. Fungsi likelihood untuk model Poisson digunakan untuk membandingkan jumlah kasus di dalam dan di luar silinder (klaster) pemindaian yang digunakan untuk mencari titik hotspot (Kulldorff, 1997). Model untuk distribusi poisson dijelaskan pada persamaan berikut :

$$p(x) = \frac{e^{-\mu} \mu^x}{x!} \quad (2.1)$$

Keterangan :

$p(x)$ = nilai probabilitas distribusi poisson

x = jumlah kasus

e = bilangan natural (2,71828)

μ = nilai rata-rata

Nilai statistik uji diperlukan dalam mendeteksi daerah potensial. Oleh karena itu, ditentukan daerah yang memaksimumkan fungsi kemungkinan untuk memperoleh nilai statistik uji yang diperoleh dari rasio kemungkinan berdasarkan H_0 dan H_1 benar. Fungsi log likelihood untuk model space time scan statistics sebagai berikut:

$$\ln(L) = \ln \left[\frac{e^{-p\mu_A - q(\mu_C - \mu_A)}}{C!} p^{C_A} q^{C - C_A} \prod_{i=1} \mu(x_i) \right] \quad (2.2)$$

Persamaan 2.2 dapat ditulis dalam bentuk

$$\ln(L) = \ln[e^{-p\mu_A - q(\mu_C - \mu_A)}] + \ln[p^{C_A}] + \ln[q^{C - C_A}] + \ln \left[\prod_{i=1} \mu(x_i) \right] - \ln[C!]$$

Keterangan:

$\ln(L)$ = logaritma murni fungsi likelihood

- C = jumlah total kasus TB yang diamati di area studi
 C_A = jumlah kasus TB yang diamati di dalam cluster
 μ_A = jumlah populasi di dalam cluster
 μ_C = jumlah populasi di area studi
 p = probabilitas terjadi kasus TB dalam kelompok
 q = probabilitas terjadi kasus TB diluar kelompok

Fungsi log likelihood berdasarkan H_0 (L_0) benar diperoleh apabila $p = q$ yaitu, rata-rata jumlah kejadian TB dalam kelompok yang terbentuk sama dengan jumlah kejadian TB di luar kelompok yang terbentuk. Sebelum menentukan nilai statistik uji diperlukan nilai yang memaksimumkan nilai p dan q sehingga persamaan (2.2) menjadi

$$L_0 = \left[\frac{e^{-p\mu_C}}{C!} p^C \prod_{i=1}^C \mu(x_i) \right] \quad (2.3)$$

$$\ln(L_0) = \ln \left[\frac{e^{-p\mu_C}}{C!} p^C \prod_{i=1}^C \mu(x_i) \right]$$

$$\ln(L_0) = \ln[e^{-p\mu_C}] + \ln[p^C] + \ln \left[\prod_{i=1}^C \mu(x_i) \right] - \ln[C!]$$

$$\ln(L_0) = [-p\mu_C] + C \ln[p] + \ln \left[\prod_{i=1}^C \mu(x_i) \right] - \ln[C!]$$

$$\ln(L_0) = -p\mu_C + C \ln[p] + \ln \left[\prod_{i=1}^C \mu(x_i) \right] - \ln[C!] \quad (2.4)$$

Dari turunan persamaan (2.4) terhadap p diperoleh nilai maksimum dari p , sehingga persamaan menjadi

$$\frac{\partial \ln(L_0)}{\partial p} = -\mu_C + \frac{C}{p} + 0 - 0$$

$$\frac{C}{p} = \mu_C$$

$$p = \frac{C}{\mu_C} \quad (2.5)$$

Substitusi nilai p dari persamaan (2.5) kedalam persamaan (2.3) sehingga membentuk persamaan berikut

$$L_0 = \frac{e^{-p\mu_C}}{C!} p^C \prod_{i=1}^C \mu(x_i)$$

$$L_0 = \frac{e^{-\frac{C}{\mu_C} \mu_C} C^c}{C! \mu_C} \prod_{i=1}^c \mu(x_i)$$

$$L_0 = \frac{e^{-C} C^c}{C! \mu_C} \prod_{i=1}^c \mu(x_i)$$

Fungsi log likelihood berdasarkan $H_1(L_1)$ benar $p > q$ yaitu ketika rata-rata jumlah kejadian TB pada kelompok yang terbentuk tidak sama dengan jumlah kejadian TB di luar kelompok yang terbentuk. Persamaan (2.2) menjadi

$$L_1 = \left[\frac{e^{-p\mu_A - q(\mu_C - \mu_A)}}{C!} p^{C_A} q^{C - C_A} \prod_{i=1}^c \mu(x_i) \right] \quad (2.6)$$

$$\ln(L_1) = \ln \left[\frac{e^{-p\mu_A - q(\mu_C - \mu_A)}}{C!} p^{C_A} q^{C - C_A} \prod_{i=1}^c \mu(x_i) \right]$$

$$\ln(L_1) = \ln[e^{-p\mu_A - q(\mu_C - \mu_A)}] + \ln[p^{C_A}] + \ln[q^{C - C_A}] + \ln \left[\prod_{i=1}^c \mu(x_i) \right] - \ln[C!]$$

$$\ln(L_1) = -p\mu_A - q(\mu_C - \mu_A) + C_A \ln[p] + C - C_A \ln[q] + \ln \left[\prod_{i=1}^c \mu(x_i) \right] - \ln[C!] \quad (2.7)$$

Dari turunan persamaan (2.7) terhadap p diperoleh nilai maksimum p ketika H_1 benar yaitu

$$\frac{\partial \ln(L_1)}{\partial p} = -\mu_A - 0 + \frac{C_A}{p} - 0 + 0 - 0 = 0$$

ini berarti

$$\frac{C_A}{p} = \mu_A, \quad p = \frac{C_A}{\mu_A}$$

Dari turunan persamaan (2.7) terhadap q diperoleh nilai maksimum q ketika H_1 benar

$$\ln(L_1) = -p\mu_A - q(\mu_C - \mu_A) + C_A \ln[p] + C - C_A \ln[q] + \ln \left[\prod_{i=1}^c \mu(x_i) \right] - \ln[C!]$$

$$\frac{\partial \ln(L_1)}{\partial q} = 0 - (\mu_C - \mu_A) + 0 + \frac{C}{q} - \frac{C_A}{q} + 0 - 0 = 0$$

$$-(\mu_C - \mu_A) + 0 + \frac{C}{q} - \frac{C_A}{q} + 0 - 0 = 0$$

$$-(\mu_C - \mu_A) + \frac{C - C_A}{q} = 0$$

$$\frac{C - C_A}{q} = \mu_C - \mu_A$$

$$q(C - C_A) = \mu_C - \mu_A$$

$$q = \frac{C - C_A}{\mu_C - \mu_A}$$

Substitusi nilai $p = \frac{C_A}{\mu_A}$ dan $q = \frac{C - C_A}{\mu_C - \mu_A}$ terhadap persamaan (2.6)

$$L_1 = \left[\frac{e^{-\left(\frac{C_A}{\mu_A}\right)\mu_A - \left(\frac{C - C_A}{\mu_C - \mu_A}\right)(\mu_C - \mu_A)} \left(\frac{C_A}{\mu_A}\right)^{C_A} \left(\frac{C - C_A}{\mu_C - \mu_A}\right)^{C - C_A} \prod_{i=1} \mu(x_i)}{C!} \right]$$

$$L_1 = \left[\frac{e^{-C_A - (C - C_A)} \left(\frac{C_A}{\mu_A}\right)^{C_A} \left(\frac{C - C_A}{\mu_C - \mu_A}\right)^{C - C_A} \prod_{i=1} \mu(x_i)}{C!} \right]$$

$$L_1 = \left[\frac{e^{-C_A - C + C_A} \left(\frac{C_A}{\mu_A}\right)^{C_A} \left(\frac{C - C_A}{\mu_C - \mu_A}\right)^{C - C_A} \prod_{i=1} \mu(x_i)}{C!} \right]$$

$$L_1 = \left[\frac{e^{-C} \left(\frac{C_A}{\mu_A}\right)^{C_A} \left(\frac{C - C_A}{\mu_C - \mu_A}\right)^{C - C_A} \prod_{i=1} \mu(x_i)}{C!} \right] \quad (2.8)$$

Untuk mendeteksi daerah potensial yaitu daerah yang memiliki peluang lebih tinggi dibandingkan dengan peluang di luar kelompok menggunakan statistik uji λ dari uji fungsi *likelihood* yang ditulis seperti pada persamaan (2.8)

$$\lambda = \frac{L_1}{L_0} = \frac{\frac{e^{-C} \left(\frac{C_A}{\mu_A}\right)^{C_A} \left(\frac{C - C_A}{\mu_C - \mu_A}\right)^{C - C_A} \prod_{i=1} \mu(x_i)}{C!}}{\frac{e^{-C} \left(\frac{C}{\mu_C}\right)^C \prod_{i=1} \mu(x_i)}{C!}}$$

$$= \frac{\left(\frac{C_A}{\mu_A}\right)^{C_A} \left(\frac{C - C_A}{\mu_C - \mu_A}\right)^{C - C_A}}{\left(\frac{C}{\mu_C}\right)^C} ; \frac{C_A}{\mu_A} > \frac{C - C_A}{\mu_C - \mu_A} \quad (2.9)$$

1.6.4. Risiko Relatif

Risiko relatif merupakan rasio kemungkinan suatu hasil pada kelompok yang terpapar penyakit terhadap kemungkinan suatu hasil pada kelompok yang tidak terpapar penyakit. Ukuran independensi dapat memberikan informasi mengenai kemungkinan adanya hubungan antara variabel kategori dalam populasi melalui nilai risiko relatif. Hubungan antara ukuran-ukuran ini ditentukan pada persamaan berikut (Feng et al., 2016):

$$RR = 1, \quad RR < 1, \quad RR > 1$$

Keterangan:

1. $RR = 1$ artinya tidak ada paparan yang mempengaruhi hasil.
2. $RR < 1$ artinya risiko hasil diturunkan sebesar paparan penyakit
3. $RR > 1$ artinya risiko hasil meningkat seiring dengan adanya paparan.

Statistik pemindaian Kulldorff menentukan keberadaan cluster yang bergerak melintasi ruang dan waktu atau berdasarkan spasial dan temporal yang telah ditentukan. Cluster diidentifikasi dengan mengamati risiko yang lebih tinggi di dalam cluster dibandingkan dengan risiko di luar cluster. Risiko relatif dihitung sebagai berikut:

$$RR = \frac{\frac{c_c}{E[c]}}{\frac{(C_T - c_c)}{(C_T - E[c])}} \quad (2.10)$$

Pada persamaan 2.10 nilai $E[c]$ dapat diketahui melalui persamaan berikut :

$$E[c] = \frac{C}{P_T} \times p_c \quad (2.11)$$

Keterangan :

RR = Risiko relatif

$E[c]$ = Nilai harapan

c_T = Jumlah total kasus yang diamati di area studi

c_c = Jumlah kasus yang diamati di dalam cluster

p_T = Total populasi di wilayah studi

p_c = Populasi di dalam cluster

1.6.5. Autokorelasi Spasial

Autokorelasi spasial adalah korelasi dari suatu objek berdasarkan jarak, waktu, dan wilayah yang menyebabkan keterkaitan tertentu antar wilayah yang berdekatan atau bertetangga (Fat et al., 2020). Pada data spasial, lokasi harus ditentukan untuk mengetahui efek spasial yang ada. Terdapat dua cara untuk mengetahui informasi lokasi, yaitu hubungan ketetanggaan (*neighborhood*) dan jarak (*distance*). Hubungan ketetanggaan menunjukkan informasi antar lokasi dalam ruang tertentu, umumnya berdasarkan peta. Sedangkan jarak menunjukkan informasi lokasi dari perhitungan jarak antar titik dalam ruang tertentu berdasarkan garis lintang dan garis bujur (Park & Fiecas, 2022).

Hal yang sangat penting dalam analisis spasial adalah adanya pembobot atau sering disebut sebagai matriks pembobot spasial. Matriks pembobot spasial digunakan untuk menentukan bobot antar lokasi yang diamati berdasarkan hubungan ketetanggaan antar lokasi. Menurut Kosfeld (2006) grid umum ketetanggaan dapat didefinisikan dalam beberapa cara yakni *rook contiguity*, *bishop*

contiguity dan queen contiguity (Fallo et al., 2020). Pada umumnya ketetanggaan antar lokasi didasarkan pada sisi-sisi dan sudutnya. Menurut Kosfeld (2006), matriks pembobot spasial \mathbf{W} dapat diperoleh dengan membuat matriks pembobot terstandarisasi (standardize contiguity matrix \mathbf{W}). Matriks pembobot terstandarisasi (standardize contiguity matrix \mathbf{W}) merupakan matriks pembobot yang diperoleh dengan cara memberikan bobot satu terhadap tetangga lokasi terdekat dan yang lainnya nol.

Pengukuran autokorelasi spasial untuk data spasial dapat dihitung menggunakan metode Moran's Index (Indeks Moran). Metode ini dapat digunakan untuk mendeteksi permulaan dari keacakan spasial. Keacakan spasial ini dapat mengindikasikan adanya pola-pola yang mengelompok. Menurut Kosfeld (2006), perhitungan autokorelasi spasial dengan metode Indeks Moran dapat dilakukan sebagai berikut (Heyne & Fhoteringham, 2020):

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{S_0 \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (2.12)$$

dimana :

I menyatakan indeks moran

n menyatakan banyaknya lokasi kejadian

x_i menyatakan nilai pada lokasi i

x_j menyatakan nilai pada lokasi j

\bar{x} menyatakan rata-rata dari jumlah nilai

w_{ij} menyatakan elemen pada matriks pembobot terstandarisasi antara lokasi i dan j

Rentang nilai dari Indeks Moran dalam kasus matriks pembobot spasial terstandarisasi adalah $-1 \leq I \leq 1$. Nilai $-1 \leq I < 0$ menunjukkan adanya autokorelasi spasial negatif, sedangkan nilai $0 < I \leq 1$ menunjukkan adanya autokorelasi spasial positif, nilai Indeks Moran bernilai nol mengindikasikan tidak berkelompok. Untuk mengidentifikasi adanya autokorelasi spasial atau tidak, dilakukan uji signifikansi Indeks Moran. Uji hipotesis untuk Indeks Moran sebagai berikut :

- i. H_0 : Tidak terdapat autokorelasi spasial
 H_1 : Terdapat autokorelasi spasial
- ii. Tingkat signifikansi : $\alpha = 0,05\%$
- iii. Nilai uji : $Z(I) = \frac{I - E(I)}{\sqrt{Var(I)}}$

dengan

$$E(I) = -\frac{1}{n-1}$$

$$Var(I) = \frac{n^2 S_1 - n S_2 + 3 S_0^2}{(n^2 - 1) S_0^2} - [E(I)]^2$$

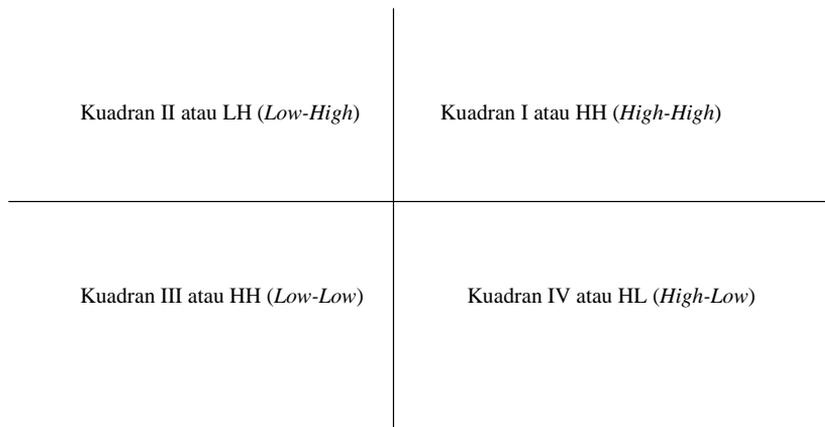
$$S_0 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}$$

$$S_1 = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (w_{ij} + w_{ji})^2$$

$$S_2 = \sum_{i=1}^n (\sum_{j=1}^n w_{ij} + \sum_{j=1}^n w_{ij})^2$$

Kriteria uji : H_0 ditolak atau terdapat autokorelasi antar lokasi jika $|Z(I)| > Z_{\alpha/2}$ dengan nilai $\alpha = 0,05\%$.

Moran Scatterplot adalah alat yang digunakan untuk melihat hubungan antara nilai pengamatan yang terstandarisasi dengan nilai rata-rata tetangga yang sudah terstandarisasi. *Moran Scatterplot* dapat digunakan untuk mengidentifikasi keseimbangan atau pengaruh spasial. Tipe-tipe hubungan spasial dapat dilihat dari gambar berikut :



Gambar 1.1 *Moran Scatterplot* (Lee & Wong, 2001)

Kuadran dalam *Moran Scatterplot* adalah sebagai berikut:

- I. Kuadran I, HH (High-High) menunjukkan bahwa daerah yang mempunyai nilai pengamatan tinggi dikelilingi oleh daerah yang memiliki nilai pengamatan tinggi.
- II. Kuadran II, LH (Low-High) menunjukkan bahwa daerah yang mempunyai nilai pengamatan rendah dikelilingi oleh daerah yang memiliki nilai pengamatan tinggi.
- III. Kuadran III, LL (Low-low) menunjukkan bahwa daerah yang mempunyai nilai pengamatan rendah dikelilingi oleh daerah yang memiliki nilai pengamatan rendah.
- IV. Kuadran IV, HL (High-Low) menunjukkan bahwa daerah yang mempunyai nilai pengamatan tinggi dikelilingi oleh daerah yang memiliki nilai pengamatan rendah.

Interpretasi nilai indeks Moran digunakan untuk mengukur tingkat autokorelasi spasial data wilayah secara global atau menyeluruh, sedangkan pengukuran autokorelasi spasial secara lokal di masing-masing wilayah dapat dilakukan menggunakan *Local Indicators of Spatial Association* (LISA). Pengukuran autokorelasi spasial menggunakan nilai LISA untuk mengukur tingkat autokorelasi

spasial data di masing-masing wilayah dapat dilakukan dengan metode berikut (Anselin, 1995):

$$I_i = \frac{n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

dimana parameter I_i menyatakan nilai LISA di Lokasi i dengan keterangan untuk parameter lainnya serupa dengan keterangan pada persamaan (2.12). Parameter I_i digunakan untuk mengukur tingkat kemiripan atau perbedaan karakteristik nilai suatu lokasi dengan nilai-nilai di sekitar lokasi tersebut. Kemiripan karakteristik nilai pada lokasi yang berdekatan dapat berupa sekumpulan lokasi yang sama-sama memiliki nilai yang tinggi (*High-High*) atau sama-sama memiliki nilai yang rendah (*Low-Low*). Perbedaan karakteristik pada setiap lokasi dapat diakibatkan oleh suatu lokasi dengan nilai yang tinggi dikelilingi oleh lokasi-lokasi dengan nilai yang rendah (*High-Low*) ataupun sebaliknya (*Low-High*).

1.6.6. Area Model

Penelitian ini menggunakan model *General Linear Model* (GLM) dengan nilai standar deviasi $\alpha = 0,05\%$. Adapun bentuk umum persamaan GLM dapat ditulis sebagai berikut:

$$Y_i = \exp(\beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \dots + \beta_k x_{ki} + \varepsilon_i)$$

$$Y_i = \exp\left(\beta_0 + \sum_{K=1}^n \beta_k x_{ki} + \varepsilon_i\right)$$

Keterangan :

Y_i = Jumlah kasus TB pada area $i = 1, 2, \dots, m$

β_0 = *Intercept*

β_k = Parameter kovariat ke- k pada area $i = 1, 2, \dots, m$

x_{ik} = Nilai kovariat ke- k pada area $i = 1, 2, \dots, m$

ε_i = Error pada area $i = 1, 2, \dots, m$

1.6.7. Transformasi Wavelet

Transformasi Wavelet menggunakan skala waktu yang berbeda untuk menganalisis komponen frekuensi yang berbeda dalam suatu gelombang serta memberikan informasi tiga dimensi tentang sinyal tersebut, yaitu frekuensi pada interval waktu tertentu, komponen frekuensi yang ada dalam sinyal tersebut, dan amplitudo dari gelombang tersebut. Transformasi Wavelet memiliki kemampuan multi-resolusi, dikarenakan transformasi tersebut menggunakan skala waktu yang berbeda untuk menganalisis komponen frekuensi yang berbeda, di mana skala waktu

yang digunakan berbanding terbalik dengan komponen frekuensi yang akan dianalisis. Skala waktu yang tinggi digunakan untuk menganalisis komponen frekuensi rendah, sedangkan skala rendah digunakan untuk menganalisis komponen frekuensi tinggi. Selain memiliki kemampuan multi-resolusi, Transformasi Wavelet juga memiliki kemampuan lokalitas spektral, yaitu mampu memberikan informasi mengenai kemunculan komponen frekuensi dalam suatu gelombang pada interval waktu tertentu.

Persamaan matematis untuk Transformasi Wavelet ialah sebagai berikut:

$$W_f(u, s) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \frac{1}{\sqrt{s}} \bar{\psi} \left(\frac{t-u}{s} \right) dt$$

Persamaan tersebut mewakili Transformasi Wavelet Kontinu (CWT) dari suatu gelombang atau suatu fungsi dari $\psi \in L^2(\mathbb{R})$ yang digunakan untuk melokalisasi sebuah fungsi f yang terdapat pada skala $s > 0$ yang ditranslasikan oleh $u \in \mathbb{R}$. Adapun $\bar{\psi}(t)$ merupakan kompleks konjugat dari Wavelet induk $\psi(t)$ pada ruang *Lebesgue* $L^2(\mathbb{R})$ (Mallat, 1999):

$$\psi_{(u,s)}(t) = \frac{1}{\sqrt{s}} \psi \left(\frac{t-u}{s} \right)$$

Adapun bentuk wavelet induk $\psi(t)$ untuk wavelet *Mexican Hat* ialah sebagai berikut (Mallat, 2008):

$$\psi(t) = (1 - t^2) e^{-\frac{t^2}{2}}$$

Wavelet Mexican Hat adalah turunan kedua dari fungsi Gaussian yang dinormalisasi secara tepat.

Adapun untuk data diskrit, wavelet ψ dipindahkan dan diskalakan dengan menggunakan langkah-langkah sebagai berikut:

- Untuk setiap skala s :

Buat array t yang diskalakan

$$t \Rightarrow \frac{t-u}{s}$$

Hitung nilai wavelet sesuai dengan fungsi wavelet Mexican Hat untuk

Setiap t :

$$\begin{aligned} \psi_{u,s}(t) &= \psi \left(\frac{t-u}{s} \right) \\ &= \left(1 - \left(\frac{t-u}{s} \right)^2 \right) e^{-\frac{\left(\frac{t-u}{s} \right)^2}{2}} \\ &= \left(1 - \left(\frac{t-u}{s} \right)^2 \right) e^{-\frac{(t-u)^2}{2s^2}} \end{aligned}$$

Kemudian lakukan normalisasi wavelet:

$$\psi_{u,s}(t) = \frac{\psi\left(\frac{t-u}{s}\right)}{\sqrt{s}} = \frac{\left(1 - \left(\frac{t-u}{s}\right)^2\right) e^{-\left(\frac{t-u}{2s}\right)}}{\sqrt{s}}$$

- Untuk setiap translasi u :

Lakukan konvolusi diskrit antara data dan diskrit yang telah diskalakan:

$$W_d(u, s) = \sum_{t=1}^n f(t) \psi_{u,s}(t)$$

Adapun langkah-langkah untuk melakukan analisis Wavelet ialah sebagai berikut:

1. Pilih jenis Wavelet induk, seperti: Mexican Hat, Haar, dan Morlet Wavelet
2. Bandingkan dengan bagian awal gelombang pada waktu, $t = 0$; hitung W_0
3. Geser gelombang ke bagian berikutnya dari gelombang pada waktu, $t = 0 + 1$; hitung W_1
4. Hitung semua W_i pada semua selang waktu
5. Gunakan gelombang-gelombang dengan skala yang berbeda (diregangkan atau ditekan) dan ulangi langkah 1–4.
6. Gambarkan plot skala terhadap waktu.

Wavelet memiliki beberapa sifat-sifat penting diantaranya yaitu sifat penerimaan (*admissibility*) dan sifat keteraturan (*regularity*), dimana $\psi(t)$ dikatakan sebagai sebuah wavelet jika memenuhi kedua sifat tersebut (Valens, 1999).

Frekuensi untuk masing-masing langkah waktu dapat direpresentasikan dalam bidang waktu/frekuensi yang membentuk spektrum Wavelet

$$F_x(u, s) = |W_{dx}(u, s)|^2$$

dimana F adalah spektrum wavelet dan x menyatakan lokasi. Spektrum Wavelet $F_x(u, s)$ diplot sebagai fungsi waktu dan periode dalam grafik 2 dimensi. Transformasi wavelet bertindak sebagai filter lokal yang secara langsung menghubungkan besarnya gelombang ke waktu untuk melacak komponen frekuensi yang berubah seiring waktu. Analisis wavelet secara khusus diadaptasi untuk penyelidikan gelombang non-stasioner dan transien.

Transformasi Wavelet W_{dx} digunakan untuk menghitung matriks kovarians $R_{i,j}$ antara setiap pasangan wavelet spektrum W_{di} dan W_{dj} , hal tersebut dilakukan untuk mencari '*singular value decomposition*' atau nilai singular dekomposisi dari wavelet spektrum W_{di} dan W_{dj} .

$$R_{i,j} = W_i W_j^t$$

W_{dj}^t menunjukkan transposisi W_{dj} serta dekomposisi nilai singular pada $R_{i,j}$ juga dapat dituliskan sebagai berikut:

$$R_{i,j} = \mathbf{U}\mathbf{\Gamma}\mathbf{V}^t$$

dimana kolom-kolom matriks \mathbf{U} bersifat ortogonal dan berisi vektor tunggal untuk W_i . Matriks \mathbf{V}^t juga merupakan matriks ortogonal dan mengandung vektor tunggal untuk W_j . Adapun $\mathbf{\Gamma}$ adalah matriks diagonal yang elemen diagonalnya bernilai tunggal dengan urutan besarnya yang menurun dan sebanding dengan kovarians kuadrat yang diperhitungkan untuk setiap sumbu.

Pola utama masing-masing frekuensi spektrum Wavelet berkembang seiring waktu, serta diperoleh dengan memproyeksikan setiap spektrum wavelet ke spektrum vektor tunggalnya masing-masing. $L_i(t)$ dan $L_j(t)$ masing-masing adalah pola utama untuk W_{di} dan W_{dj} :

$$L_i(t) = \sum_{f=1}^{f=F} \mathbf{U} \times W_{di}(f, t) \quad \text{dan} \quad L_j(t) = \sum_{f=1}^{f=F} \mathbf{V} \times W_{dj}(f, t)$$

dengan F merupakan frekuensi maksimum yang sama untuk kedua spektrum.

Jarak antara 2 spektrum wavelet diukur dengan membandingkan pola utama dan vektor tunggal yang diperoleh. Hubungan antara 2 vektor tunggal dan antara 2 pola utama tidak linier, sehingga tidak dapat dibandingkan dengan menggunakan korelasi sederhana. Hubungan tersebut diukur menggunakan ukuran jarak (D) berikut yang diadaptasi dari Rouyer et al. (2008):

$$D(L_i, L_j) = \sum_{t=1}^{n-1} \text{acos} \left[\left| \left(L_i^k(t) - L_j^k(t) \right) - \left(L_i^k(t+1) - L_j^k(t+1) \right) \right| \right]$$

dimana n adalah panjang vektor, serta $L_i(t)$ dan $L_j(t)$ merupakan pola utama untuk spektrum Wavelet W_{di} dan W_{dj} . Ukuran jarak tersebut membandingkan 2 vektor dengan mengukur sudut antara setiap pasangan segmen yang bersesuaian dan ditentukan oleh titik-titik berurutan dari 2 vektor, dimana 2 vektor paralel akan menghasilkan jarak nol. Ukuran jarak tersebut kemudian dihitung sebagai rata-rata tertimbang untuk jarak masing-masing vektor tunggal dan pola utama, dimana perbandingan spektrum wavelet i dan j dihitung menurut $DT(i, j)$ berikut:

$$DT(i, j) = \frac{\sum_{k=1}^{k=K} w_k \times \left(D(L_i, L_j) + D(\mathbf{U}_i, \mathbf{V}_j) \right)}{\sum_{k=1}^{k=K} w_k}$$

dengan w_k sebagai bobot yang ditetapkan sama dengan jumlah kovarians pada setiap sumbu. Jarak $DT(i, j)$ kemudian digunakan untuk mengisi matriks jarak yang sesuai untuk analisis cluster serta membuat hierarki Wavelet berdasarkan matriks tersebut. Semakin besar jumlahnya kovarians, semakin besar jumlah sumbu yang dipertahankan. Semakin panjang jumlah sumbu memungkinkan untuk memperhitungkan fitur waktu-frekuensi umum yang lebih rinci antara 2 spektrum.

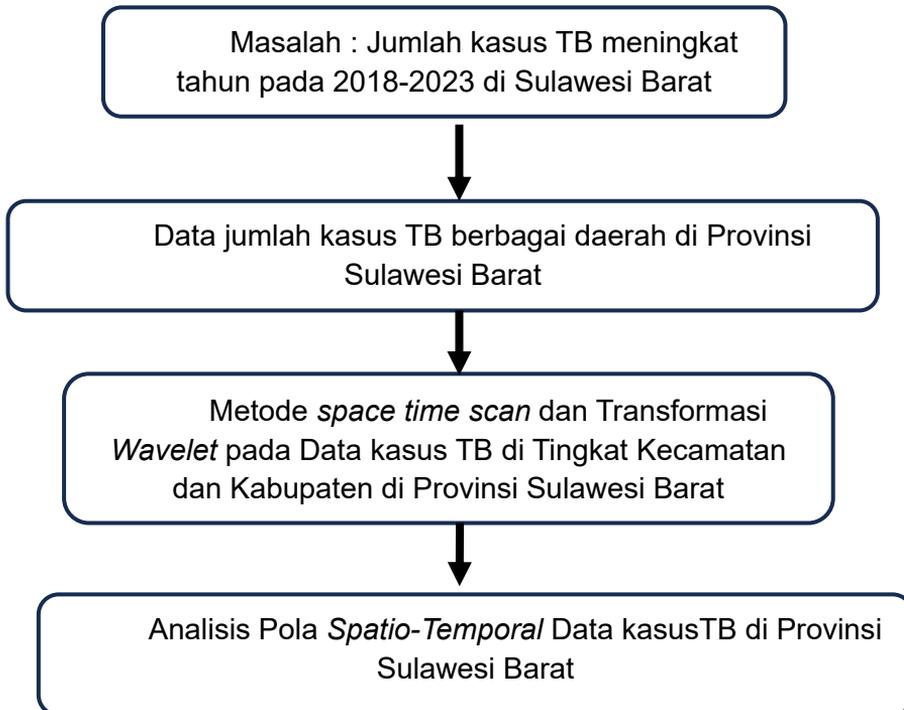
1.7 PENELITIAN YANG RELEVAN

Pendukung dalam melakukan penelitian ini adalah penelitian-penelitian sebelumnya. Penelitian yang relevan serta pernah dilakukan yaitu:

- 1) Penelitian yang dilakukan oleh Fahdhienie & Sitepu (2022) dengan judul Analisis spatio-temporal kejadian tuberkulosis di Kabupaten Aceh Utara Indonesia 2019-2021. Hasil pada penelitian ini menunjukkan adanya klaster spasial TB di Kabupaten Aceh Utara, Indonesia. Tiga belas klaster TB yang signifikan secara statistik telah diidentifikasi pada periode 2019-2021. Kemungkinan besar klaster terdeteksi di Kecamatan Geureudong dalam periode penelitian tiga tahun terakhir. Peneliti juga menemukan bahwa klaster spasial dan Hotspot TB yang signifikan berada dilokasi yang sama.
- 2) Penelitian yang dilakukan oleh Picinini (2022), dengan judul Klaster spatio temporal dan pola penyebaran demam berdarah, chikungunya, dan zika di Colombia. Hasil pada penelitian ini yakni terdapat pembentukan klaster tempat beresiko tinggi lintasan penyebaran demam berdarah, chikungunya dan zika di Colombia secara spatio temporal. Penyebaran penyakit zika membutuhkan waktu rata-rata 34,4 minggu dengan RR 21,43; penyebaran penyakit chikungunya membutuhkan waktu rata-rata 15,7 minggu dengan RR 12,73 serta nilai RR pada penyakit demam berdarah yakni 5,80. Secara demografis, penularan penyakit beresiko tinggi berada pada wilayah pesisir pantai Atlantik Kolombia. Resiko tertinggi penyakit demam berdarah yakni pada iklim yang cocok untuk nyamuk Aedes dengan ketinggian kurang dari 2000 meter di atas permukaan laut, suhu hangat diatas 20 derajat celcius dan kelembaban relatif di bawah 80%.
- 3) Penelitian yang dilakukan oleh Rao (2017), dengan judul analisis statistik pemindaian Kulldorff untuk mendeteksi kelompok spatio-temporal dari tuberkulosis di Provinsi Qinghai, Cina 2009-2016. Hasil pada penelitian ini yakni sebanyak 48.274 kasus TBC dilaporkan dari tahun 2009 hingga 2016 di Qinghai. Hasil pemindaian Kulldorff menunjukkan bahwa kasus TBC di Qinghai dikelompokkan secara signifikan berdasarkan distribusi spatio-temporal. Cluster spatio-temporal yang paling mungkin ($LLR = 2547.64$, $RR = 4.21$, $P < 0.001$) terutama terkonsentrasi di barat daya Qinghai, meliputi tujuh kabupaten dan dikelompokkan dalam rentang waktu dari September 2009 hingga Desember 2016.
- 4) Penelitian yang dilakukan oleh Yakin & Nusrang (2019), dengan judul Space-Time Scan Statistics untuk Mendeteksi Hotspot Kejadian Gempa Bumi di Sulawesi Tengah. Hasil pada penelitian ini yakni analisis hotspot data kejadian gempa bumi di Provinsi Sulawesi Tengah untuk data kejadian tahun 2017-2018 mengidentifikasi 3 hotspot. Ketiga hotspot tersebut secara berurutan yaitu, hotspot utama Kabupaten Donggala dan Kota Palu ($RR=2.54$), hotspot sekunder 1 yaitu Kabupaten Sigi dan Palu ($RR=2.79$), hotspot sekunder 2 yaitu Kabupaten Banggai, Kabupaten Banggai Laut, Kabupaten Tojo Una-Una, serta Kabupaten Morowali Utara ($RR=1.43$)

1.8 ALUR PENELITIAN

Adapun Alur Penelitian penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.2 berikut:



Gambar 1.2 Alur Penelitian

1.9 HIPOTESIS PENELITIAN

Adapun hipotesis yang diajukan dalam penelitian ini adalah

H_0 : Tidak terdapat kelompok tuberkulosis berdasarkan pola spatio-temporal di Provinsi Sulawesi Barat.

H_1 : Terdapat kelompok tuberkulosis berdasarkan pola spatio-temporal di Provinsi Sulawesi Barat.

BAB II

METODE PENELITIAN

2.1 JENIS PENELITIAN

Jenis penelitian yang digunakan adalah penelitian kuantitatif. Penelitian ini dilakukan untuk menggambarkan kasus TB dan pemetaan wilayah yang tinggi terhadap kasus TB berdasarkan spatio temporal menggunakan pemindaian *kulldorff* dan *wavelet* terhadap data jumlah kasus TB, beserta faktor penyebab terjadinya kasus TB di Provinsi Sulawesi Barat.

2.2 TEMPAT DAN WAKTU PENELITIAN

Pelaksanaan penelitian dilakukan di Provinsi Sulawesi Barat yang terdiri atas delapan kabupaten dan Universitas Hasanuddin Makassar pada tahun 2024. Adapun daftar kabupaten dan kecamatan pada Provinsi Sulawesi Barat dapat dilihat dalam tabel sebagai berikut :

Tabel 2.1 Daftar Kabupaten dan Jumlah Kecamatan di Sulawesi Barat

No	Kabupaten	Kecamatan
1	Majene	Banggae, Banggae Timur, Pamboang, Sendana, Tammerodo Sendana, Tubo Sendana, Malunda, Ulumanda.
2	Mamasa	Aralle, Balla, Bambang, Buntu Malangka, Mamasa, Mambi, Mehalaan, Messawa, Nosu, Rantebulahan Timur, Pana, Sesena Pada, Sumarorong, Tabang, Tabulahan, Tanduk Kalua, Tawalian
3	Polewali Mandar	Tinambung, Balanipa, Limboro, Tubbi Taramanu, Alu, Campalagian, Luyo, Wonomulyo, Mapilli, Tapango, Matakali, Bulu, Polewali, Binuang, Anreapi, Matangnga
4	Mamuju	Bonehau, Kalukku, Kalumpang, Kepulauan Balabalakang, Mamuju, Papalang, Sampaga, Simboro dan Kepulauan, Tapalang, Tapalang Barat, Tommo
5	Mamuju Tengah	Pangale, Budong-Budong, Tobadak, Topoyo, Karossa
6	Pasangkayu	Sarudu, Dapurang, Duripoku, Baras, Bulu Taba, Lariang, Pasangkayu, Tikke Raya, Pedongga, Bambalamotu, Bambaira, Sarjo

2.3 POPULASI DAN DATA PENELITIAN

Populasi dalam penelitian ini adalah masyarakat Provinsi Sulawesi Barat yang mengalami kasus tuberkulosis pada tahun 2018 hingga 2023. Penelitian ini menggunakan data sekunder yang bersumber dari Data Dinas Kesehatan Daerah dan Badan Pusat Statistik (BPS) tiap kabupaten di Provinsi Sulawesi Barat. Selain itu, data dalam penelitian ini juga menggunakan data geografis Provinsi Sulawesi Barat untuk masing-masing kabupaten dan kecamatan yang dapat diakses menggunakan aplikasi *google maps*.

2.4 VARIABEL PENELITIAN

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini ialah sebagai berikut:

Tabel 2.2 Variabel Penelitian

Kategori Variabel	Deskripsi
Variabel Dependen/Respon	Jumlah kasus TB
Variabel Independen	Jumlah Perokok
	Kepadatan Penduduk
	Jumlah Penduduk Miskin
	Jumlah Puskesmas
	Jumlah Curah Hujan

2.5 TEKNIK PENGUMPULAN DATA

Teknik pengumpulan data pada penelitian melalui studi literatur, data yang digunakan pada penelitian ini berupa data sekunder yaitu data yang diperoleh dan dikumpulkan dari berbagai sumber baik instansi, jurnal ilmiah, artikel, penelitian sebelumnya, dan dokumen lainnya yang berkaitan dengan topik yang diteliti. Adapun data penelitian ini diperoleh dari Dinas Kesehatan Provinsi Sulawesi Barat untuk kasus TB dan *google maps* untuk mendapatkan data letak geografis Provinsi Sulawesi Barat untuk setiap kabupaten.

2.6 TEKNIK ANALISIS DATA

Teknik analisis data yang digunakan dalam penelitian ini ialah analisis statistika deskriptif dan analisis statistika inferensial.

2.6.1. Analisis deskriptif

Analisis deskriptif dalam penelitian ini bertujuan untuk mendeskripsikan data penelitian berdasarkan jumlah kasus TB, penyebab kejadian TB.

2.6.2. Analisis statistika inferensial

Analisis statistika inferensial dalam penelitian ini dimaksudkan untuk mengolah data penelitian secara *spatio-temporal* menggunakan bantuan aplikasi *Satscan* dan *MATLAB*. Adapun langkah analisisnya ialah sebagai berikut:

1. Mengumpulkan data sekunder kasus TB di Provinsi Sulawesi Barat dan data letak geografis Provinsi Sulawesi Barat perkecamatan.
2. Melakukan uji korelasi sebaran kasus TB berdasarkan spasial menggunakan metode Morans' I .
3. Menginput data yang bertujuan membentuk kelompok berdasarkan spatio temporal pada kasus TB.
4. Mengidentifikasi kelompok dengan mengamati risiko yang lebih tinggi di dalam klaster dibandingkan dengan risiko di luar klaster menggunakan persamaan risiko relatif.
5. Klaster yang terbentuk diurutkan berdasarkan rasio kemungkinan; klaster dengan kemungkinan maksimum yang lebih tinggi memiliki kemungkinan yang lebih besar menggunakan fungsi likelihood pada persamaan 2.9.
6. Mendeskripsikan data yang telah terbentuk untuk mengetahui kasus TB tertinggi pada lokasi dan waktu tertentu.
7. Melakukan analisis faktor penyebab terjadinya kejadian TB di Provinsi Sulawesi Barat.
8. Transformasi data jumlah kasus TB menggunakan *Wavelet*.
9. Konstruksi matriks kovarian berdasarkan hasil *Wavelet*.
10. Menarik kesimpulan.