

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Menurut *International Leptospirosis Society* (ILS), Indonesia merupakan salah satu negara dengan angka kejadian Leptospirosis tertinggi. Indonesia berada di peringkat ke-3 dunia setelah negara Cina dan India untuk kasus mortalitas atau kematian tertinggi. Angka kematian (CFR) akibat Leptospirosis di Indonesia relatif tinggi, yaitu berkisar antara 2,5% hingga 16,45%, dengan rata-rata sebesar 7,1%. Sementara itu, angka kematian mencapai 56% pada penderita yang berusia 50 tahun ke atas (Karina Rim Br Ginting et al., 2022). Tiap tahun kasus Leptospirosis menyebabkan sekitar 58.000 kematian dan 1,03 juta manusia terinfeksi. Penyakit ini menyebarluas di dunia, khususnya di negara-negara beriklim tropis dan sub tropis dengan curah hujan yang tinggi. Curah hujan yang tinggi mendukung kondisi tepat bagi bakteri *Leptospira* untuk bertahan hidup dan berkembang biak, sehingga meningkatkan risiko paparan bakteri ini kepada manusia melalui air dan tanah (Inayah et al., 2023).

Berdasarkan *World Health Organization* (WHO), insiden global Leptospirosis, diperkirakan 0,1 sampai dengan 1 per 100.000 tahun pada iklim sedang, serta 10 sampai dengan 100 per 100.000 tahun pada daerah dengan iklim tropis lembab. Wabah ini dilaporkan di dunia diantaranya di Eropa, Afrika, India, Thailand, Indonesia, Malaysia, Srilanka, Amerika Utara dan Amerika Selatan. Leptospirosis diklasifikasi sebagai *re-emerging disease* yaitu penyakit menular yang dapat muncul Kembali (Diaswati et al., 2024). Perkiraan menunjukkan bahwa ada lebih dari 500.000 kasus Leptospirosis setiap tahun di seluruh dunia. Saat hujan salah satu penyakit yang berpotensi mewabah ialah Leptospirosis. Berbagai kasus telah dilaporkan di hampir seluruh negara di Amerika, dengan wabah juga tercatat di Brasil, Nikaragua, Guyana, dan beberapa negara lain di Amerika Latin (Eka Purnama et al., 2022).

Kejadian Leptospirosis di Indonesia pernah terjadi pada tahun 2020 dilaporkan di delapan provinsi, yaitu Sulawesi Selatan, Kalimantan Utara, Jawa Timur, Yogyakarta, DKI Jakarta, Banten, Jawa Barat, dan Jawa Tengah hingga 1.170 kasus Leptospirosis. Namun, *Case Fatality Rate* (CFR) tertinggi sebesar 16,4% terjadi di Jawa Barat pada tahun 2020. Pada tahun 2021 kasus Leptospirosis menurun dari 906 kasus menjadi 734 kasus dibandingkan tahun 2020 yang (8) delapan provinsi laporkan diantaranya Banten, DKI Jakarta, Jawa Tengah, Jawa Barat, Yogyakarta, Kalimantan Timur, Jawa Timur, dan Kalimantan Utara. Berdasarkan jumlah kasus terlaporkan, didapatkan hasil bahwa sejumlah 84 kasus meninggal dengan CFR sebesar 11,4% dari 9,1%. Median CFR provinsi yang melaporkan temuan kasus umumnya lebih rendah bila dibanding pada tahun 2020 (Diaswati et al., 2024).

Kemudian kasus Leptospirosis meningkat pada tahun 2023, berdasarkan Profil Kesehatan Indonesia terdapat 2.554 kasus Leptospirosis yang ditemukan pada 12 provinsi, termasuk DKI Jakarta, Jawa Barat, Jawa Tengah, DI Yogyakarta, Jawa Timur, Banten, Kalimantan Utara, Sulawesi Selatan, Kalimantan Timur, Kepulauan Riau, Bali, dan Maluku. Dari total kasus tersebut, sebanyak 205 orang meninggal, dengan tingkat kematian (*Case Fatality Rate/CFR*) mencapai 8%. Dibandingkan tahun sebelumnya, jumlah kasus Leptospirosis mengalami peningkatan, tingkat kematian menurun dari 9,1% pada tahun 2022 menjadi 8% pada 2023. Beberapa provinsi, seperti Jawa Tengah, DI Yogyakarta, Jawa Timur, Sulawesi Selatan, Sulawesi Tenggara, Kalimantan Timur, dan Kalimantan Utara, melaporkan adanya kenaikan jumlah kasus, sementara DKI Jakarta, Jawa Barat, dan Banten justru mengalami penurunan (Kemenkes RI, 2024).

Leptospirosis termasuk penyakit yang berasal dari tikus dan dikategorikan sebagai *emerging disease*. Penyakit ini semakin perlu mendapat perhatian seiring dengan pertumbuhan populasi dunia, meningkatnya mobilitas manusia, kemudahan dalam produksi pangan, perubahan gaya hidup serta perilaku, ekspansi wilayah pemukiman, dan kemunculan patogen baru akibat mutasi. Penyebab Leptospirosis adalah bakteri *Leptospira interrogans* yang bersifat patogen pada manusia dan hewan (Estela Karolina & Sari, 2023). Kasus leptospirosis pernah terjadi di Sulawesi selatan yaitu di Kabupaten Pangkep, tepatnya pada tahun 2020. Penyakit ini menyerang warga di beberapa desa di Kecamatan Ma'rang dan menjadi ancaman serius yang mendapat perhatian dari Pemerintah Kabupaten Pangkep, karena jumlah kasus terus meningkat. Berdasarkan data dari Dinas Kesehatan Kabupaten Pangkep, telah ditemukan 15 kasus, termasuk tiga kematian, yang terjadi di Desa Pitue (Husada & Sanaky, 2021).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan Manyullei dkk. 2021 di kota Makassar pada Puskesmas Antang, Puskesmas Batua, dan Puskesmas Bangkala di Kecamatan Manggala tahun 2020 dari 31 sampel dari ditemukan 11 serum darah positif *Leptospira*. Populasi dalam penelitian ini mencakup semua pasien yang berkunjung ke ketiga puskesmas tersebut dengan syarat memenuhi kriteria suspek Leptospirosis, yaitu demam lebih dari 3 hari, sakit kepala, dan nyeri otot. Data dikumpulkan dari sumber primer, termasuk gejala Leptospirosis dan hasil pemeriksaan uji aglutinasi mikroskopis (MAT) yang dilakukan di Balai Besar dan B2P2VRP Vektor (Manyullei et al., 2021).

Leptospirosis merupakan salah satu permasalahan kesehatan yang masih ditemui di sejumlah daerah di Indonesia. Penyakit ini dapat dipicu oleh berbagai faktor risiko, seperti lingkungan yang telah tercemar oleh bakteri *Leptospira sp.*, kondisi permukiman yang kumuh, sistem pengelolaan sampah yang tidak memadai, serta tingginya populasi tikus di sekitar area tempat tinggal (Husni et al., 2023). Kasus Leptospirosis yang tinggi pada

daerah tropis dan subtropis dapat disebabkan oleh kondisi lingkungan yang kurang baik. Hal ini membuat bakteri *Leptospirosis* tumbuh dan berkembang biak. Penyebaran penyakit *Leptospirosis* yang meluas di masyarakat berisiko menyebabkan terjadinya wabah. Oleh karena itu, penting untuk melaksanakan upaya pengendalian wabah yang melibatkan berbagai sektor, termasuk dukungan bagi tenaga kesehatan dalam melakukan pemeriksaan epidemiologi epidemiologit, pemberdayaan masyarakat, serta pengendalian penyebaran penyakit (Yoni Setyo Nugroho et al., 2023).

Leptospirosis dapat menyebabkan berbagai gejala klinis, mulai dari yang ringan hingga kondisi yang lebih parah dan berpotensi fatal. Gejala penyakit ini sering kali menyerupai influenza, demam berdarah, atau penyakit hemoragik virus lainnya. Sebagian besar kasus yang dilaporkan menunjukkan gejala berat dengan tingkat kematian melebihi 10% (*Pan American Health Organization (PAHO), 2024*). Penyebaran penyakit ini dipengaruhi oleh tingginya populasi tikus sebagai pembawa bakteri penyebab *Leptospirosis*, kondisi sanitasi yang buruk, serta banjir yang meluas, sehingga beberapa daerah di Indonesia menjadi wilayah endemik *Leptospirosis*. Faktor lingkungan di Indonesia selama ini dianggap sebagai risiko terjadinya infeksi *Leptospirosis*, seperti daerah yang rawan banjir, banyaknya genangan air, serta lingkungan yang becek dan berlumpur. Hal ini menimbulkan kekhawatiran bahwa infeksi akan terus terjadi jika upaya penanggulangan *Leptospirosis* tidak dilakukan secara menyeluruh (Ningsih & Wahid, 2022).

Pemukiman sering kali memiliki permasalahan sanitasi lingkungan, sampah yang berserakan, genangan air, serta adanya tikus di sekitar rumah. Kondisi ini menurunkan kualitas kebersihan lingkungan dan mendukung keberlangsungan bakteri *Leptospira*. Lingkungan dengan sanitasi yang kurang baik berpotensi meningkatkan paparan masyarakat terhadap sumber penularan, sehingga risiko terjadinya *leptospirosis* menjadi lebih tinggi. Paparan dapat terjadi melalui kontak langsung maupun tidak langsung dengan air atau tanah yang sudah terkontaminasi, terutama ketika terdapat genangan yang bercampur dengan urin tikus. Semakin banyak faktor lingkungan yang tidak terkelola dengan baik, maka semakin besar pula kemungkinan masyarakat di pemukiman tersebut mengalami penularan *leptospirosis*.

Berdasarkan SK Walikota Makassar No. 826/653.2/Tahun 2018, terdapat 8 kelurahan di Kecamatan Tallo yang dinyatakan sebagai permukiman kumuh dengan kategori berat adapun diantaranya tallo, panampu, rapokalling, buloa, bunga eja beru, tammua, kaluku bodoa, dan wala walaya. Namun, pada tahun 2021, melalui SK Walikota Makassar No. 1301/050.13/Tahun 2021, status 8 kelurahan tersebut berubah menjadi kawasan kumuh dengan kategori ringan. Berdasarkan uraian latar belakang diatas, peneliti tertarik melakukan penelitian yang berkaitan dengan kondisi

sanitasi lingkungan dan uji PCR serum darah pasien suspek Leptospirosis dengan di wilayah kerja Puskesmas Rapokalling tahun 2025.

PCR digunakan untuk mendeteksi berbagai jenis mikroorganisme, termasuk yang menyebabkan penyakit. Metode ini sangat sensitif dan tidak memerlukan pembiakan mikroorganisme di laboratorium. Karena itu, PCR merupakan cara yang efektif untuk mengenali penyebab infeksi akut. Salah satu keunggulan PCR dalam mendeteksi Leptospirosis adalah kemampuannya menemukan bakteri *Leptospira* sejak awal infeksi. Leptospirosis adalah penyakit yang bisa menyebar dengan cepat, terutama di daerah dengan sanitasi yang kurang baik. Oleh karena itu, pemeriksaan laboratorium yang cepat dan akurat seperti PCR sangat dibutuhkan agar penyakit ini bisa segera diidentifikasi dan ditangani dengan tepat, dalam penelitian ini akan menggunakan metode PCR untuk memeriksa serum darah pada manusia (Khaki et al., 2023).

Penelitian ini bertujuan untuk mendeskripsikan bagaimana kondisi sanitasi lingkungan seperti keberadaan genangan air, keberadaan sampah, kondisi selokan, keberadaan dahan pohon, keberadaan kabel, ketersediaan air bersih dan kondisi SPAL dan uji serum darah pasien suspek Leptospirosis pada masyarakat. Peneliti akan menggunakan metode uji PCR untuk mendeteksi keberadaan bakteri *Leptospira* dalam sampel darah manusia, diharapkan penelitian ini dapat memberikan gambaran yang jelas mengenai dampak sanitasi terhadap kesehatan masyarakat.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka peneliti merumuskan masalah, sebagai berikut "Bagaimana kondisi sanitasi lingkungan dan uji PCR serum darah pasien suspek Leptospirosis di wilayah Puskesmas Rappokalling Tahun 2025 ?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini dapat dijabarkan sebagai berikut :

1.3.1 Tujuan Umum

Untuk mengetahui kondisi sanitasi lingkungan dan uji PCR serum darah pasien suspek Leptospirosis di wilayah Puskesmas Rappokalling Tahun 2025

1.3.2 Tujuan Khusus

Adapun tujuan khusus yang ingin dicapai adalah sebagai berikut :

- a. Untuk mendeskripsikan keberadaan genangan air di sekitar rumah pasien suspek Leptospirosis di Wilayah Puskesmas Rapokalling.
- b. Untuk mendeskripsikan keberadaan sampah di sekitar rumah pasien suspek Leptospirosis di Wilayah Puskesmas Rapokalling.
- c. Untuk mendeskripsikan tanda keberadaan tikus (bau urin, jejak kaki, bekas gigitan dan kotoran tikus) di sekitar rumah pasien suspek Leptospirosis di Wilayah Puskesmas Rapokalling.

- d. Untuk mendeskripsikan keberadaan akses tikus kedalam rumah (dahan pohon, kabel listrik, tali, dan atau tiang) di sekitar rumah pasien suspek Leptospirosis di Wilayah Puskesmas Rapokalling.
- e. Untuk mendeskripsikan kondisi selokan di sekitar rumah pasien suspek Leptospirosis di Wilayah Puskesmas Rapokalling.
- f. Untuk mendeskripsikan ketersediaan air di sekitar rumah pasien suspek Leptospirosis di Wilayah Puskesmas Rapokalling.
- g. Untuk mendeskripsikan kondisi SPAL di sekitar rumah pasien suspek Leptospirosis di Wilayah Puskesmas Rapokalling.
- h. Untuk mendeskripsikan hasil uji serum darah melalui uji PCR pada pasien dengan gejala suspek leptospirosis di wilayah puskesmas Rapokalling

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1.4.1 Manfaat Ilmiah

Penelitian ini diharapkan menambah pengetahuan peneliti tentang kondisi sanitasi terhadap penyebaran infeksi *Leptospira* dan hasil penelitian dapat menjadi referensi dan acuan penelitian selanjutnya, untuk mempelajari lebih dalam tentang masalah Kesehatan masyarakat.

1.4.2 Manfaat Bagi Institusi

Diharapkan dapat meningkatkan reputasi institusi sebagai pusat riset yang peduli terhadap isu-isu kesehatan masyarakat. Dengan menghasilkan studi yang relevan, institusi dapat menarik perhatian lebih banyak pihak untuk berinvestasi dalam program-program kesehatan dan lingkungan, serta membuka peluang untuk penelitian lanjutan di bidang kesehatan.

1.4.3 Manfaat Praktis

Hasil dari penelitian ini dapat digunakan sebagai dasar untuk menyusun kebijakan publik yang lebih efektif dalam menangani masalah kesehatan di daerah kumuh, pemerintah dapat memprioritaskan program peningkatan sanitasi dan edukasi masyarakat mengenai praktik kebersihan yang baik untuk mengurangi risiko infeksi *Leptospira*. Penelitian ini juga diharapkan meningkatkan kesadaran masyarakat tentang pentingnya sanitasi yang baik dan dampaknya terhadap Kesehatan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum Tentang *Leptospira*

Leptospira pertama kali dikenali sebagai penyebab penyakit Weil di Jepang, yang banyak menyerang penambang batu bara. Bakteri *spirochete* ini umumnya ditemukan dalam urine hewan yang terinfeksi, dan manusia bisa tertular saat tidak sengaja terpapar urine tersebut. Selain itu, Leptospirosis juga dapat menular melalui luka pada kulit atau mukosa. Genus *Leptospira* memiliki banyak spesies yang diklasifikasikan berdasarkan hubungan DNA dan proses aglutinasi antigen Leptospirosis. Dari klasifikasi genetik, ditemukan delapan belas spesies *Leptospira*, sementara berdasarkan aglutinasi ada sekitar tiga ratus *serovar*. Sebenarnya, manusia bukanlah *reservoir* utama penyakit Leptospirosis namun beberapa mamalia dan hewan pengerat adalah *reservoir* utama (Prestiaji, 2024).

Genus *Leptospira* menyebabkan Leptospirosis, hal ini berasal dari organisme patogen dari genus *Leptospira* yang termasuk dalam ordo *Spirochaeta* alam Famili *Trepanometaceae*. Bakteri ini berukuran 0,1 mm x 0,6 mm sampai 0,1 mm x 20 mm. Bakteri *Leptospira* ini berbentuk spiral mempunyai pilin rapat dan ujung berbentuk kait sehingga bakteri dapat bergerak dengan aktif secara berputar sepanjang sumbu, baik itu maju mundur maupun melengkung. *Leptospira* bisa diwarnai menggunakan *karbolfuchsin*, tetapi bakteri ini hanya dapat diamati dengan mikroskop medan gelap. Bakteri ini bersifat *aerob obligat* dengan pertumbuhan optimal pada suhu 280-300°C dan pH 7,2 –8,0 (Miftah et al., 2023).

Leptospira merupakan bakteri aerob yang pertumbuhannya cenderung lambat serta sangat sensitif terhadap kondisi kering maupun lingkungan dengan tekanan osmotik tinggi. Organisme ini memiliki bentuk heliks dengan ujung melengkung menyerupai kait, sehingga dapat dibedakan dengan jelas dari kelompok spiroketa lainnya. *Leptospira* tergolong tipis dan memanjang. Menurut Jutras et al. bakteri ini mampu memanjang secara lateral melalui proses sintesis peptidoglikan yang berperan dalam pertumbuhannya. Karakteristik morfologi tersebut memungkinkan *Leptospira* menembus jaringan inang dengan lebih mudah (Samrot et al., 2021).

Selain itu, keberadaan *baktofilin* pada *L. biflexa* berperan dalam mempertahankan bentuk heliks bakteri, dan protein ini juga diduga memiliki fungsi struktural penting lainnya. Reseptor *Leptospira* yang berperan dalam proses adhesi diduga berada pada bagian ujung sel, mirip dengan yang ditemukan pada *Treponema denticola*. Saat dilakukan inkubasi dengan sel J774A.1, bakteri ini cenderung menempel pada kedua ujung sel sehingga membentuk pola menyerupai halter (Samrot et al., 2021).

Hewan yang terinfeksi bakteri *Leptospira* dapat dapat menularkan penyakit Leptospirosis pada manusia. Penyebaran penyakit ini bisa berlangsung secara langsung melalui kontak dengan hewan yang sudah terinfeksi atau secara tidak langsung melalui paparan air serta tanah yang telah tercemar oleh urin yang mengandung *Leptospira*. Selain itu, ada berbagai faktor lingkungan yang dapat memengaruhi pertumbuhan *Leptospira*, seperti tingkat keasaman (pH) tanah, derajat pH air, kelembaban udara, suhu, dan intensitas Cahaya (Ratnaningsih et al., 2023).

Bakteri *Leptospira* umumnya berkembang di ginjal serta saluran kemih inangnya. Adapun beberapa hewan yang dapat menjadi reservoir penyebab terjadinya penyakit Leptospirosis adalah tikus, bajing, landak, sapi, babi, dan berbagai hewan lainnya. Namun, pada umumnya tikus merupakan reservoir utama *Leptospira*. Bakteri *Leptospira* dapat hidup di air selama berminggu-minggu ataupun didalam tanah yang basah/lembab dengan pH tanah sebesar 6,2-8 selama 43 hari serta hidup dengan suhu 25°C (Amalia & Prawoto, 2024).

Leptospira termasuk dalam kelompok bakteri spiroketa yang memiliki hubungan filogenetik dengan spesies lain dalam kelompok tersebut. Genom *Leptospira* diperkirakan berukuran sekitar 5000 kbp, Genom tersebut terdiri atas dua kromosom, yaitu kromosom utama berukuran sekitar 4400 kbp serta kromosom tambahan yang lebih kecil dengan ukuran kurang lebih 350 kbp. Peta fisik genom telah berhasil disusun pada beberapa serovar, seperti pomona *Kennewick* dan icterohaemorrhagiae. Gen rRNA pada *Leptospira* tersebar luas, dengan dua set gen 16S dan 23S rRNA, namun hanya terdapat satu gen 5S rRNA. Bakteri penyebab Leptospirosis dapat masuk ke dalam tubuh manusia melalui berbagai jalur. Salah satu cara penularan adalah melalui kontak langsung, yaitu ketika bakteri masuk lewat luka pada kulit atau melalui selaput lendir, misalnya pada luka terbuka yang terpapar air maupun tanah yang telah tercemar. Selain itu, infeksi juga dapat terjadi melalui konsumsi makanan atau minuman yang terkontaminasi. Kebiasaan makan dengan tangan yang tidak bersih juga berpotensi menjadi perantara masuknya mikroorganisme penyebab penyakit ini ke dalam tubuh (Rahman et al., 2023).

Leptospira sp. adalah bakteri yang dapat bergerak aktif dengan memanfaatkan asam lemak serta unsur karbon sebagai sumber energinya. Meskipun tergolong bakteri Gram-negatif, *Leptospira sp.* tidak dapat diwarnai menggunakan metode pewarnaan Gram. Struktur membran luarnya mengandung lipopolisakarida yang berfungsi sebagai faktor utama virulensinya. Bakteri ini memiliki kemampuan adaptasi yang tinggi terhadap lingkungan. Beberapa jenis *Leptospira* memiliki variasi genetik yang berpengaruh terhadap tingkat patogenitasnya (Mubarakoh et al., 2021).

Tidak seperti sebagian besar bakteri lainnya, *Leptospira* memiliki dua flagela periplasma (dikenal juga sebagai filamen aksial atau *endoflagela*)

yang menempel pada kedua ujung sel dan memanjang secara horizontal di dalam ruang periplasma. Struktur flagela ini berperan penting dalam pergerakan *Leptospira*, baik dalam bentuk translasi maupun non-translasi. Selain itu, flagela periplasma juga berfungsi sebagai kerangka sel (sitoskeleton) yang membantu mempertahankan bentuk khas bakteri yang pipih serta bergelombang. Masing-masing flagela hanya memanjang hingga jarak pendek dari kutub asalnya, membentuk ujung melengkung menyerupai kait. Kedua flagela yang berasal dari ujung berlawanan tersebut kemudian berakhir di bagian tengah sel *Leptospira* tanpa saling bertemu (Samrot et al., 2021).

Klasifikasi genus *Leptospira* saat ini telah mengalami perubahan berdasarkan analisis genom, yang menghasilkan penambahan 13 spesies baru sehingga totalnya mencapai 64 spesies. Berdasarkan identifikasi genetik, jumlah serovar *Leptospira* kini telah melebihi 260 dan dibagi menjadi tiga kelompok, yaitu patogen, intermediet, dan saprofit. Kelompok patogen dapat menimbulkan penyakit dengan tingkat keparahan sedang hingga berat, sedangkan kelompok intermediet biasanya menimbulkan infeksi yang lebih ringan. Sementara itu, serovar saprofit umumnya hidup di lingkungan, tidak bersifat patogen, namun dapat berperan penting apabila mengalami rekombinasi genetik dengan serovar patogen (Cilia et al., 2021).

Lesi utama biasanya terjadi pada endotel pembuluh darah kecil, yang kemudian menimbulkan kerusakan iskemik di berbagai organ seperti ginjal, hati, paru-paru, meningen, plasenta, serta otot. Dalam beberapa kasus, dapat pula muncul komplikasi berupa perdarahan, ikterus akibat kerusakan jaringan hati, maupun trombositopenia. Meski kerusakan jaringan bisa cukup parah, kondisi tersebut masih memungkinkan untuk pulih sepenuhnya atau meninggalkan jaringan parut, sebagaimana sering dijumpai pada ginjal babi dengan bentuk kronis. Secara tradisional, genus *Leptospira* dibagi menjadi dua spesies utama, yaitu *L. interrogans* yang bersifat patogen dan *L. biflexa* yang bersifat saprofit. Keduanya kemudian dikelompokkan lebih lanjut ke dalam serovar berdasarkan aglutinasi antigenik, reaksi silang, serta uji penyerapan silang. Hingga kini, telah diidentifikasi lebih dari 60 serovar pada *L. biflexa* dan lebih dari 200 serovar pada *L. interrogans* (Cilia et al., 2021).

Saat ini, telah teridentifikasi 20 spesies *Leptospira sp.*, di mana 9 spesies bersifat patogen, 6 spesies termasuk kategori intermediet, dan sisanya merupakan spesies saprofit. Seluruh spesies *Leptospira sp.* telah diketahui tersebar secara luas di berbagai wilayah dan dapat ditularkan baik dari hewan ke manusia maupun sebaliknya. Lebih lanjut, *Leptospira interrogans* dan *Leptospira biflexa* diklasifikasikan ke dalam berbagai serovar yang kemudian digunakan sebagai indikator dalam metode deteksi. Beberapa serovar yang menginfeksi manusia juga memiliki potensi dalam menyebabkan zoonosis (Mubarakoh et al., 2021).

Genus *Leptospira* terdiri dari berbagai jenis bakteri yang secara genetik diklasifikasikan ke dalam tiga kelompok utama, yaitu patogen, intermediet, dan saprofit. Beberapa spesies yang termasuk dalam kelompok patogen dan berperan penting dalam penyebaran Leptospirosis di berbagai wilayah di dunia antara lain *Leptospira interrogans*, *L. borgpetersenii*, *L. kirschneri*, *L. alexanderi*, *L. alstonii*, *L. kmetyi*, *L. noguchii*, *L. santarosai*, *L. mayottensis*, dan *L. weilii*. Dari seluruh spesies tersebut, *L. interrogans*, *L. borgpetersenii*, dan *L. kirschneri* merupakan spesies patogen yang paling sering ditemukan dan menjadi penyebab utama Leptospirosis pada manusia secara global. Tingginya prevalensi *L. interrogans* pada *Rattus norvegicus*, jenis tikus yang paling umum dijumpai di wilayah perkotaan, mengindikasikan bahwa spesies ini kemungkinan besar tetap menjadi *Leptospira* patogenik yang paling dominan di lingkungan alam. Di daerah urban, *R. norvegicus* atau tikus coklat menjadi spesies yang paling banyak ditemukan dan dianggap sebagai sumber utama penyebaran *Leptospira* (Yi et al., 2025).

Protein Lig pada *Leptospira* memiliki domain yang mirip dengan protein invasin pada *Y. pseudotuberculosis* dan intimin pada *E. coli*, yang keduanya dikenal berperan sebagai adhesin. Hal ini mengindikasikan bahwa protein Lig juga berfungsi dalam proses adhesi *Leptospira*. Beberapa penelitian melaporkan bahwa imunisasi menggunakan satu jenis atau kombinasi protein Lig mampu memberikan perlindungan terhadap kematian, namun belum cukup efektif dalam mencegah terjadinya infeksi maupun kolonisasi. Lebih lanjut, protein Lig diketahui berperan sebagai adhesin dengan kemampuan mengikat fibronektin, kolagen, laminin, serta sel endotel vena umbilikalis manusia (HUVEC). kebutuhan adhesin pada tahap-tahap tertentu selama proses infeksi. Pada *Borrelia burgdorferi*, telah diketahui bahwa adhesin yang berbeda dibutuhkan dalam berbagai fase transmigrasi endotel, dan kemungkinan mekanisme serupa juga berlaku pada *Leptospira*. (Surdel & Coburn, 2024).

Spesies *Leptospira interrogans* merupakan bakteri berbentuk *spirochete*. Hingga saat ini, telah teridentifikasi lebih dari 250 serovar patogen dari spesies *L. interrogans*, yang dikelompokkan ke dalam 24 serogrup. Setidaknya 10 serovar diketahui memiliki peran penting dalam menyebabkan infeksi pada anjing dan kucing. Penularan *Leptospira* sp. dapat terjadi secara langsung melalui kontak dengan urin yang terinfeksi, penularan venereal, transplasental, gigitan, atau dengan mengonsumsi jaringan hewan yang telah terinfeksi (Efendi et al., 2022).

Gejala klinis Leptospirosis terdiri dari dua fase, yaitu fase akut atau fase septik yang muncul setelah masa inkubasi sekitar 2–20 hari. Sementara itu, fase kedua atau fase imun ditandai dengan peningkatan kadar antibodi serta peradangan pada beberapa organ yang terinfeksi. Faktor utama patogenitas *Leptospira* adalah kemampuannya melekat pada permukaan sel serta menyebabkan toksisitas seluler. *Lipopolisakarida* (LPS) yang dimiliki

bakteri ini memiliki aktivitas endotoksin yang berbeda dari endotoksin pada bakteri Gram-negatif. Selain itu, LPS juga dapat merangsang perlekatan neutrofil pada sel endotel dan trombosit, yang mengarah pada agregasi trombosit serta trombositopenia, namun tidak menyebabkan DIC (*disseminated intravascular coagulation*). Bakteri ini dapat menyebar ke berbagai organ dalam tubuh, seperti ginjal, hati, sistem saraf pusat, limpa, mata, dan organ reproduksi. Namun, *Leptospira* sulit dieliminasi dari ginjal, terutama di area glomerulus (Prasetyo & Pamungkas, 2021).

Infeksi *Leptospira* dapat masuk melalui konjungtiva, selain melalui kulit dan mukosa. Setelah masuk ke dalam tubuh, bakteri ini tidak menyebabkan lesi pada area tempat masuknya. Enzim *hialuronidase* serta gerakan menyerupai penggalian (*burrowing motility*) diduga berperan dalam proses masuknya *Leptospira* ke dalam tubuh. Setelah itu, bakteri *Leptospira* yang bersifat virulen akan berkembang biak di dalam darah dan jaringan. Sementara itu, *Leptospira* yang tidak bersifat virulen tidak dapat berkembang biak dan akan dieliminasi oleh sistem imun dalam satu hingga dua hari setelah infeksi. Sebaliknya, *Leptospira* yang virulen memiliki tingkat motilitas yang tinggi, dengan lesi primer berupa kerusakan pada dinding endotel pembuluh darah, yang kemudian menyebabkan vaskulitis serta kerusakan organ. Vaskulitis yang timbul dapat disertai dengan kebocoran dan ekstrasvasi sel (Mujahidah et al., 2023).

Ginjal dan hati merupakan organ utama yang terinfeksi oleh *Leptospira*. Dalam ginjal, bakteri ini akan bermigrasi ke interstisium serta lumen tubulus ginjal. Pada kasus *Leptospirosis* yang parah, vaskulitis dapat mengganggu sirkulasi mikro dan meningkatkan permeabilitas kapiler, yang berujung pada kebocoran cairan serta hipovolemia. Hipovolemia akibat dehidrasi dan perubahan permeabilitas kapiler menjadi salah satu faktor penyebab terjadinya gagal ginjal. Pada kondisi gagal ginjal, ginjal mengalami pembesaran yang disertai edema, perdarahan subkapsular, serta nekrosis pada tubulus renal. Untuk hati sendiri perubahan yang terjadi tidak nampak secara nyata. Melalui pemeriksaan mikroskopik, perubahan patologi yang terlihat meliputi nekrosis sentrolobuler, serta adanya hipertrofi dan hiperplasia pada sel *Kupffer* (Mujahidah et al., 2023).

2.2 Tinjauan Umum Tentang *Leptospirosis*

Leptospirosis merupakan penyakit zoonosis yang disebabkan oleh bakteri berbentuk spiral dari genus *Leptospira*. Penyakit ini dapat menular dari hewan ke manusia melalui paparan urin hewan yang terinfeksi, baik secara langsung maupun melalui tanah atau air yang telah terkontaminasi. Secara alami, *Leptospirosis* berkembang akibat interaksi yang kompleks antara agen penyebab penyakit, inang, dan faktor lingkungan. Kondisi lingkungan dengan sanitasi yang buruk dapat meningkatkan risiko penyebaran penyakit *Leptospirosis* (Jahja & Drew, 2024).

Dalam epidemiologi Leptospirosis, model segitiga epidemiologi menunjukkan adanya interaksi antara inang, agen, dan lingkungan. Inang dalam penyakit ini mencakup manusia serta hewan yang berperan sebagai reservoir. Tikus dan beberapa mamalia lain termasuk dalam kelompok hewan reservoir Leptospirosis. Di Indonesia, tikus menjadi sumber utama penyebaran penyakit ini, dengan beberapa spesies yang sering terlibat dalam transmisi, seperti *Rattus tanezumi*, *Rattus norvegicus*, *Bandicota indica*, *Rattus exulans*, *Mus musculus*, dan *Suncus murinus*. Penyebab Leptospirosis adalah bakteri *Leptospira*, sementara faktor lingkungan berkontribusi dalam mendukung penyebaran bakteri tersebut (Nurvita, 2023).

Penularan Leptospirosis pada manusia umumnya terjadi melalui kontak dengan hewan yang terinfeksi, di mana bakteri dapat masuk melalui konjungtiva atau luka pada kulit. Leptospirosis dapat menyebar dalam kondisi tertentu, seperti saat banjir, air bah, atau ketika sumber air yang digunakan sehari-hari tercemar oleh urin hewan. Masa inkubasi penyakit ini berkisar antara 2 hingga 26 hari. Setelah masuk ke dalam aliran darah, bakteri akan menyebar ke seluruh tubuh dan berpotensi menyebabkan gangguan pada organ hati serta ginjal. Paparan dapat terjadi melalui kontak langsung, yaitu ketika seseorang bersentuhan langsung dengan urin yang terkontaminasi, maupun secara tidak langsung, seperti melalui air atau tanah yang telah tercemar oleh bakteri (Ningsih & Wahid, 2022).

Leptospirosis dapat ditularkan melalui berbagai jenis hewan, termasuk tikus, babi, kambing, sapi, domba, anjing, kucing, kuda, kelelawar, dan tupai. Penularan langsung dari hewan ke manusia terjadi melalui paparan urine atau cairan tubuh lain yang mengandung bakteri *Leptospira*, yang kemudian masuk ke dalam tubuh manusia. Gejala Leptospirosis berkembang dalam tiga tahap, yaitu fase anikterik, fase ikterik, dan fase konvalesen atau penyembuhan. Pada fase anikterik, yang berlangsung sekitar 5–7 hari, penderita biasanya mengalami demam, menggigil, sakit kepala, nyeri otot terutama di betis dan bagian lumbal, kehilangan nafsu makan (anoreksia), kemerahan pada konjungtiva, serta mual dan muntah (Inayah et al., 2023).

Faktor-faktor yang berkontribusi terhadap kejadian Leptospirosis meliputi aspek perilaku, akses terhadap layanan kesehatan, kondisi lingkungan, faktor sosial-ekonomi, serta demografi. Pekerja dengan risiko tinggi, seperti buruh bangunan, petani, dan nelayan yang tidak menggunakan alat pelindung diri saat bekerja, lebih rentan terpapar penyakit ini. Diagnosis Leptospirosis umumnya didasarkan pada gejala klinis yang muncul, seperti demam mendadak, menggigil, sakit kepala, nyeri otot (mialgia), ruam pada kulit, mual, muntah, *conjunctival suffusion*, serta kelemahan tubuh. Namun, penyakit ini masih sering tidak terdeteksi (*underdiagnosed*) karena banyak infeksi bersifat subklinis, keterbatasan

fasilitas diagnostik, serta kurangnya alat tes yang akurat dan mudah diakses. Selain itu, Leptospirosis kerap salah didiagnosis sebagai penyakit lain, dan tenaga medis masih kurang familiar dengan manifestasi klinisnya. Kondisi ini menyebabkan jumlah kasus yang sebenarnya terjadi tidak sepenuhnya dilaporkan (*under-reported*) (Tri Sulistyowati et al., 2023)

Fase ikterik dimulai pada hari ke-5 hingga hari ke-9, ditandai dengan munculnya ikterus (kulit menguning), gangguan fungsi hati, serta gangguan ginjal yang dapat menyebabkan oliguria, pembengkakan pada tungkai (edema), dan anemia. Pada tahap ini, penderita sering kali merasakan nyeri di area hati saat disentuh. Fase terakhir, yaitu fase konvalesen, merupakan tahap penyembuhan yang berlangsung antara 15–30 hari. Pada fase ini, ikterus mulai mereda, produksi urine kembali normal, dan tekanan darah stabil. Secara umum, gejala yang sering dialami oleh penderita Leptospirosis meliputi demam, sakit kepala, nyeri otot pada betis dan paha, serta gangguan ginjal (Inayah et al., 2023).

Pengobatan Leptospirosis umumnya melibatkan pemberian antibiotik dari golongan penisilin, streptomisin, tetrasiklin, atau eritromisin. Pemberian penisilin atau tetrasiklin dengan dosis tinggi diketahui dapat memberikan hasil yang efektif. Pada kasus Leptospirosis ringan yang disertai ikterus ringan, pengobatan dapat dilakukan dengan pemberian doksisisiklin 2x100 mg per hari selama 7 hari, kecuali bagi anak-anak, ibu hamil, atau pasien dengan kontraindikasi terhadap doksisisiklin. Alternatif lainnya adalah amoksisilin dengan dosis 3x500 mg per hari untuk orang dewasa, serta 10-20 mg/kg BB setiap 8 jam untuk anak-anak selama 7 hari. Jika pasien memiliki alergi terhadap amoksisilin, maka antibiotik dari golongan makrolid dapat digunakan sebagai pengganti (Zuyina & Sari, 2021)

Gejala Leptospirosis sering kali menyerupai penyakit lain, seperti demam berdarah, sehingga berpotensi menimbulkan salah diagnosis, terutama di wilayah tropis tempat kedua penyakit tersebut banyak ditemukan. Faktor risiko terinfeksi dapat berasal dari riwayat kontak dengan hewan sebelumnya maupun dari aktivitas di lingkungan yang terkontaminasi urin hewan, baik saat bekerja maupun dalam kegiatan sehari-hari. Penularan pada manusia dapat terjadi secara langsung melalui kontak dengan hewan yang terinfeksi, misalnya melalui susu, urine, cairan reproduksi, janin hasil abortus, maupun plasenta. Selain itu, penularan juga bisa berlangsung secara tidak langsung, yaitu melalui paparan air atau tanah yang sudah tercemar bakteri. Terdapat tiga jalur utama masuknya bakteri ke dalam tubuh manusia. Pertama, melalui kontak langsung, yaitu bakteri masuk melalui luka pada kulit atau selaput lendir, termasuk luka terbuka yang terkena air atau kotoran yang terkontaminasi. Kedua, melalui jalur oral, misalnya ketika seseorang menelan makanan yang tercemar atau menggunakan tangan yang tidak higienis sehingga bakteri dapat masuk ke saluran pencernaan (Rahman et al., 2023).

Leptospirosis sering muncul bersamaan dengan penyakit lain, sehingga membuat proses diagnosis dan pengobatan jadi lebih susah. Kondisi ini bisa menimbulkan kebingungan dalam menentukan penyakit utama, bahkan kadang obat yang diberikan justru berlebihan dan bisa merugikan pasien. Karena itu, penting untuk memahami kemungkinan adanya koinfeksi agar penanganan bisa lebih tepat. Salah satu koinfeksi yang cukup sering dilaporkan adalah Leptospirosis dengan dengue. Kasus ini ditemukan di berbagai negara, termasuk. Menurut penelitian Sachu et al. penderita yang mengalami kedua infeksi sekaligus dapat menunjukkan gejala seperti gusi berdarah dan munculnya ruam. Curah hujan juga diduga berpengaruh terhadap meningkatnya kasus koinfeksi, meski hubungan ini tidak terlalu kuat secara statistik (Madhavan et al., 2018).

Tantangan utama muncul pada saat awal penyakit, karena gejala Leptospirosis dan dengue sama-sama mirip dengan demam akut. Padahal, jika dibiarkan, keduanya bisa menjadi sangat serius. Leptospirosis berat dapat menimbulkan penyakit kuning dan kerusakan banyak organ, sedangkan dengue bisa berkembang menjadi demam berdarah *dengue* (DBD) atau *sindrom syok dengue* (DSS). Dari sisi pengobatan, Leptospirosis biasanya diatasi dengan antibiotik, sementara dengue lebih sering ditangani dengan perawatan suportif sesuai gejala. Namun karena tanda-tandanya mirip, kesalahan diagnosis sering terjadi, sehingga pemberian antibiotik atau perawatan yang tepat bisa tertunda (Madhavan et al., 2018).

Pengobatan Leptospirosis umumnya mencakup beberapa langkah medis. Pertama, penggunaan antibiotik menjadi pilihan utama, di antaranya doksisisiklin, amoksisilin, ampicilin, penisilin G, serta *seftriakson*. Jenis antibiotik yang diberikan biasanya menyesuaikan dengan kondisi pasien dan riwayat kesehatannya. Kedua, bila infeksi sudah menyerang paru-paru dan menimbulkan kesulitan bernapas, pasien mungkin memerlukan bantuan ventilasi mekanis. Dalam situasi tersebut, dokter juga dapat memberikan obat penenang agar pasien merasa lebih nyaman selama menggunakan alat bantu pernapasan. Ketiga, pada kasus tertentu yang berisiko menimbulkan kerusakan organ, prosedur plasmaferesis atau pertukaran plasma dapat dilakukan sebagai bagian dari pengobatan tambahan (Rahman et al., 2023).

2.3 Tinjauan Umum Tentang Uji Serologi

a. Metode PCR

Polymerase Chain Reaction (PCR) adalah teknik amplifikasi asam nukleat secara in vitro yang paling banyak dipelajari dan digunakan secara luas. Metode ini berfungsi untuk memperbanyak jumlah molekul DNA pada target tertentu dengan cara menganalisis molekul DNA baru yang berkomplemen dengan DNA target. Proses ini melibatkan enzim serta oligonukleotida yang berperan sebagai primer dalam sistem termal siklik (*thermocycle*). Panjang DNA target dapat berkisar dari puluhan hingga ribuan nukleotida, dengan posisi yang diapit oleh sepasang primer. Primer yang terletak sebelum daerah target disebut primer

forward, sedangkan yang berada setelahnya disebut primer reverse (Winarni Agustini et al., 2021).

Enzim polimerase digunakan dalam proses ini untuk mensintesis untai DNA baru. Sebelum PCR berlangsung, molekul mRNA mengalami proses *reverse transcriptase* untuk menghasilkan complementary DNA (cDNA). Molekul cDNA ini kemudian digunakan dalam PCR sebagai penguat (amplifier) RNA. Proses ini dikenal dengan istilah *Reverse Transcription* PCR (RT-PCR) (Winarni Agustini et al., 2021).

PCR memiliki berbagai kegunaan dalam teknik laboratorium dan aplikasi klinis lainnya, seperti DNA fingerprinting, deteksi bakteri atau virus (terutama AIDS/HIV), serta diagnosis gangguan genetik. Dalam proses perbanyakan segmen DNA menggunakan PCR, sampel pertama-tama dipanaskan untuk mendestabilisasi struktur DNA sehingga terpisah menjadi dua untai tunggal. Selanjutnya, enzim yang dikenal sebagai *Taq Polymerase* berperan dalam mensintesis serta membentuk dua untai DNA baru dengan menggunakan untai asli sebagai cetakan (Britannica Editors, 2024).

PCR umumnya digunakan dalam diagnosis berbasis molekuler dengan mendeteksi berbagai patogen seperti virus, bakteri, protozoa, dan cacing parasit. Selain itu, PCR dapat membedakan spesies berdasarkan DNA. Dalam prosesnya, PCR menggunakan primer DNA yang bersifat komplemen terhadap sekuens target yang akan diamplifikasi, di mana primer yang digunakan relatif lebih sederhana dibandingkan dengan LAMP, yang memerlukan sepasang primer forward dan reverse. PCR juga memiliki beberapa kekurangan. Salah satunya adalah biaya persiapan sampel yang cukup tinggi. Selain itu, PCR memerlukan mesin pengatur suhu yang dikenal sebagai thermal cycler serta membutuhkan waktu yang relatif lama untuk menyelesaikan prosesnya (Pertiwi et al., 2021).

Proses ini memungkinkan penggandaan DNA secara eksponensial, di mana setiap siklus menghasilkan dua salinan baru dari untai DNA asli. Siklus denaturasi dan sintesis ini diulang sebanyak 20 hingga 35 kali, sehingga dapat menghasilkan lebih dari satu miliar kopi segmen DNA awal. Seluruh prosedur PCR berjalan secara otomatis dan dapat diselesaikan dalam waktu beberapa jam dengan menggunakan perangkat yang disebut thermocycler. Alat ini telah diprogram untuk menyesuaikan suhu reaksi dalam interval waktu tertentu guna mendukung proses denaturasi dan sintesis DNA (Britannica Editors, 2024).

Teknologi Polymerase Chain Reaction (PCR) dikembangkan oleh Kary Mullis pada tahun 1985 dan telah menjadi sangat penting dalam penelitian biologi molekuler. Sebelum melakukan PCR dengan sampel penelitian, penting untuk melakukan optimasi agar komposisi dan kondisi PCR sesuai, sehingga hasil yang diperoleh optimal. Proses PCR

terdiri dari tiga tahap siklus suhu yang berurutan: denaturasi template pada suhu 94–95°C, annealing (penempelan) pasangan primer pada untai ganda DNA target pada suhu 50–60°C, dan pemanjangan pada suhu 72°C. Beberapa faktor yang mempengaruhi keberhasilan PCR meliputi: 1) konsentrasi dan kualitas DNA, 2) suhu *annealing* untuk kedua primer, 3) konsentrasi MgCl₂, 4) enzim polimerase, 5) konsentrasi dan kualitas primer, 6) jumlah siklus PCR, 7) *deoksinukleotida triphosphate* (dNTP), serta faktor lain seperti larutan buffer (Setyawati & Zubaidah, 2021).

PCR memiliki keunggulan dalam hal sensitivitas, kecepatan, dan spesifisitas tinggi karena mengandalkan target gen spesifik pada bakteri tersebut. Namun, metode ini juga memiliki beberapa kelemahan dibandingkan dengan diagnostik konvensional (kultur). Teknik PCR berfungsi dengan menggandakan bagian tertentu dari DNA menggunakan enzim DNA polimerase yang diinisiasi oleh pelekatan primer, dan menghubungkan *deoksiribonukleotida trifosfat* (dNTP) dalam kondisi termal. Komponen yang diperlukan dalam proses PCR meliputi template DNA dan sepasang primer, yaitu oligonukleotida pendek yang memiliki urutan nukleotida komplementer dengan urutan pada DNA template (Sawitri et al., 2024).

Primer merupakan salah satu komponen yang berperan penting dalam proses keberhasilan PCR. Primer dapat membatasi fragmen dari DNA target yang akan digandakan, primer merupakan nukleotida memiliki ukuran 18-30 nt. Dalam merancang primer kriteria yang ada harus dipilih dengan sesuai dan perlu diperhatikan agar efisien pada DNA target dan primer dapat menempel dengan spesifik. Gen *cytochrome b* merupakan salah satu gen yang bias dipakai sebagai penandaan spesifik antara satu spesies dengan spesies mamalia lainnya (Devi Astari et al., 2021).

b. Metode ELISA

ELISA adalah metode uji serologi yang digunakan untuk mendeteksi antibodi berdasarkan prinsip ikatan spesifik antara antigen dan antibodi dalam suatu sampel. Metode deteksi dengan ELISA dapat dilakukan baik secara kuantitatif maupun kualitatif. Selain untuk mendeteksi virus hepatitis B (VHB), ELISA juga dapat digunakan untuk mendeteksi antibodi terhadap hepatitis C. Untuk mendeteksi HBsAg pada sampel yang terinfeksi VHB, teknik yang digunakan adalah sandwich ELISA. Dalam metode ini, antibodi penangkap antigen dilapisi di dalam lubang pelat dan diikat pada fase padat. Antigen akan berada di antara dua lapisan antibodi, yaitu penangkap dan pendeteksi (Christian et al., 2024).

ELISA (*Enzyme-Linked Immunosorbent Assay*) adalah teknik yang melibatkan pelabelan antibodi atau antigen dengan enzim, di mana antigen tersebut diimobilisasi secara spesifik dalam fase cair. Interaksi

ini kemudian dideteksi melalui pewarnaan yang dihasilkan dari reaksi enzimatik antara uji dan substrat kromogenik. Hasil dari uji ELISA mencapai akurasi 100%, meskipun ada kemungkinan munculnya hasil positif palsu dan negatif palsu. Sensitivitasnya adalah 100% dan spesifisitasnya 95%. ELISA mampu mendeteksi zat target (antigen atau antibodi) dalam jumlah sangat kecil, bahkan hingga level picogram, yang menunjukkan tingkat sensitivitas yang tinggi. Teknik ini juga dapat diotomatisasi, mengurangi keterlibatan manual dan meningkatkan konsistensi hasil (Mumtaz S et al., 2024).

Teknik ini memiliki sensitivitas dan spesifisitas tertinggi dibandingkan dengan metode ELISA lainnya, tidak menggunakan radioisotop, dan reagen yang digunakan cukup stabil dengan sensitivitas yang baik jika dibandingkan dengan deteksi menggunakan Radioimmunoassay (RIA). Namun, kelemahan dari teknik sandwich ELISA adalah membutuhkan waktu dan biaya yang cukup besar (Christian et al., 2024). Selain itu, ELISA dapat digunakan untuk mengukur konsentrasi relatif zat target dalam sampel, karena respons enzimatik yang dihasilkan berkorelasi dengan jumlah zat tersebut. Namun, metode ini memiliki keterbatasan dalam analisis eksosom karena sensitivitas yang rendah dan prosedur yang rumit. Secara keseluruhan, ELISA adalah metode dengan tingkat akurasi, spesifisitas, dan sensitivitas yang tinggi, serta memiliki jangkauan biomarker yang luas (Mumtaz S et al., 2024).

ELISA memiliki beberapa format utama, yaitu direct ELISA, indirect ELISA, *sandwich* ELISA, dan competitive ELISA. Sandwich ELISA umumnya digunakan untuk mendeteksi antigen, di mana antigen ditangkap oleh antibodi yang dilapisi di dalam pelat dan kemudian bereaksi dengan antibodi detektor yang dilabeli enzim, membentuk kompleks antigen–antibodi. *Competitive* ELISA, di sisi lain, digunakan untuk mendeteksi molekul kecil atau antibodi spesifik, di mana analit dalam sampel bersaing dengan analit berlabel untuk mengikat antibodi pada garis uji. Pemilihan format ELISA disesuaikan dengan sifat analit, tujuan diagnostik, dan jenis sampel yang diperiksa (Aydin et al., 2025).

Metode ELISA memiliki keunggulan berupa sensitivitas dan spesifisitas yang tinggi, mampu mendeteksi analit hingga level picogram, serta memungkinkan pengukuran kuantitatif maupun kualitatif. Selain itu, ELISA dapat diotomatisasi, sehingga mengurangi keterlibatan manual dan meningkatkan konsistensi hasil. Keunggulan lainnya adalah fleksibilitas dalam aplikasi, termasuk deteksi infeksi virus, pemantauan respons imun terhadap vaksin, penelitian biomarker, dan pengujian keamanan pangan. Karakteristik ini membuat ELISA menjadi metode utama dalam skrining dan diagnostik laboratorium.

Meski memiliki banyak keunggulan, ELISA juga memiliki keterbatasan. *Sandwich* ELISA membutuhkan waktu dan biaya yang

relatif besar, serta memerlukan antibodi spesifik berkualitas tinggi. Selain itu, prosedur yang rumit dapat meningkatkan risiko hasil positif atau negatif palsu, terutama jika standar operasional tidak diikuti dengan benar. Beberapa aplikasi, seperti analisis eksosom atau biomarker dengan konsentrasi sangat rendah, masih menghadapi tantangan sensitivitas dan kompleksitas prosedur. Oleh karena itu, pemahaman tentang keterbatasan ini penting untuk interpretasi hasil yang akurat.

ELISA digunakan secara luas dalam diagnostik klinis dan penelitian, termasuk deteksi antibodi atau antigen pada penyakit infeksi, pemantauan vaksinasi, penemuan biomarker, dan uji keamanan makanan. Selain itu, inovasi seperti multiplex ELISA dan eSimoa (enzyme-linked single molecule array) semakin meningkatkan sensitivitas dan kemampuan pengukuran analit dalam sampel kompleks. Fleksibilitas dan akurasi metode ini menjadikan ELISA sebagai salah satu teknik diagnostik dan penelitian yang paling banyak digunakan di laboratorium modern (Sakamoto et al., 2018).

c. Metode MAT

Uji MAT merupakan metode diagnostik yang digunakan sebagai standar acuan (*gold standard*) dalam mendeteksi keberadaan antibodi terhadap *Leptospira*. Metode ini termasuk dalam kategori uji serologis dan paling sering digunakan sebagai rujukan dalam evaluasi berbagai uji serologis lainnya. Prinsip kerja uji MAT melibatkan proses inkubasi antara serum darah pasien dan berbagai serovar *Leptospira* hidup. Reaksi positif ditunjukkan dengan terbentuknya aglutinasi, yang menandakan adanya interaksi antara antibodi dalam serum dan antigen dari serovar *Leptospira* tertentu. Serovar yang menunjukkan reaksi tersebut diindikasikan sebagai penyebab infeksi. Identifikasi serovar ini kemudian dapat dimanfaatkan untuk keperluan studi epidemiologi.

Uji MAT adalah metode pengenceran bertingkat terhadap serum yang dicampurkan dalam volume yang sama dengan suspensi *Leptospira* hidup, kemudian diinkubasi pada suhu dan waktu tertentu. Reaksi campuran tersebut diamati secara mikroskopis, dan hasil uji dinilai berdasarkan aglutinasi sebesar 50% sebagai penentu akhir titer. Proses pengenceran serum dilakukan dalam microtiter plate, lalu ditambahkan suspensi *Leptospira* hidup. Saat ini, telah diketahui lebih dari 250 serovar *Leptospira* di seluruh dunia. Karena spesifisitas serovar dalam uji MAT cukup tinggi, maka panel antigen yang digunakan sebaiknya mencakup isolat terbaru yang mencerminkan serovar yang beredar di wilayah tempat pasien kemungkinan terinfeksi. Sebagai alternatif, dapat digunakan strain referensi global yang telah direkomendasikan oleh *World Health Organization* (WHO) (Riyadi & Sunarno, 2019).

Umumnya, laboratorium menggunakan subkultur *Leptospira* berumur 5 hingga 7 hari. Untuk memastikan standar uji yang konsisten,

konsentrasi kultur disesuaikan agar mencapai 2×10^8 sel *Leptospira* per ml sebelum digunakan. Kepadatan kultur ini dapat diukur menggunakan berbagai metode seperti counting chamber (misalnya Helber atau Petroff-Hauser dengan kedalaman sel 0,02 mm), pengukuran densitas optik (OD) pada panjang gelombang 420 nm menggunakan spektrofotometer, skala *McFarland*, atau estimasi jumlah sel per bidang pandang dengan mikroskop fase gelap (Riyadi & Sunarno, 2019).

Kelebihan dari metode MAT adalah merupakan standar emas dalam diagnosis infeksi *Leptospira* sp. serta mampu mengidentifikasi serovar yang menginfeksi, sehingga dapat membantu dalam memperkirakan kondisi kesehatan hewan yang mungkin terdampak. Namun, kelemahan dari MAT adalah sensitivitasnya yang rendah pada tahap awal infeksi karena mendeteksi antibodi, sehingga sering kali diperlukan pengujian ulang untuk memastikan diagnosis. Selain itu, mempertahankan strain antigen hidup untuk uji ini juga cukup sulit (Efendi et al., 2022).

Optimalisasi penggunaan uji aglutinasi mikroskopis (MAT) sangat penting dalam mendeteksi penyakit leptospirosis, khususnya di wilayah yang memiliki keterbatasan sumber daya dan tingkat kejadian penyakit yang tinggi dengan variasi reaktivitas yang berbeda-beda di setiap daerah. MAT umumnya digunakan untuk diagnosis secara retrospektif (setelah infeksi terjadi), uji ini tetap berperan penting dalam mengidentifikasi kasus, terutama untuk kepentingan studi epidemiologi. Selain itu, MAT juga dapat membantu memperkirakan jumlah kasus leptospirosis yang sebenarnya, serta memprediksi serogrup *Leptospira* yang mungkin menyebar melalui hewan pembawa (reservoir) (Jayasundara et al., 2021).

Prinsip dasar dari uji MAT yaitu dengan mencampurkan serum pasien yang telah diencerkan secara bertingkat dengan kultur *Leptospira*, lalu mengamati tingkat aglutinasi (penggumpalan) akibat reaksi imun menggunakan mikroskop medan gelap. Nilai titer antibodi ditentukan berdasarkan tingkat pengenceran tertinggi dari serum yang masih mampu menyebabkan aglutinasi terhadap 50% atau lebih dari *Leptospira* yang ada. Prinsipnya tampak sederhana, proses penilaian hasil (positif atau negatif) membutuhkan keterampilan tinggi dari tenaga laboratorium, sehingga pelaksanaannya sulit diterapkan sebagai tes rutin (Oyamada et al., 2021).

Selain itu, prosedur penanganan sampel, seperti memindahkan cairan dari tiap sumur pada pelat mikro ke kaca objek, cukup rumit dan memakan waktu. Walaupun *International Leptospirosis Society* telah mengembangkan Skema Pengujian Kecakapan Internasional untuk MAT selama beberapa tahun terakhir, standarisasi uji ini secara global masih belum tercapai. Hal ini disebabkan oleh perbedaan dalam peralatan yang digunakan—seperti mikroskop medan gelap, lensa objektif, sistem pencahayaan, dan kamera serta variasi dalam kondisi pengujian,

termasuk rentang pengenceran serum, lama inkubasi, hingga tingkat pembesaran lensa yang digunakan, yang bervariasi antar laboratorium (Oyamada et al., 2021).

Hasil positif pada uji MAT ditandai dengan terbentuknya gumpalan dalam sampel yang telah dicampurkan dengan antigen dari serovar *Leptospira* tertentu. Gumpalan ini menunjukkan adanya reaksi antara antibodi dalam serum pasien dengan antigen *Leptospira*. Serovar yang menunjukkan reaksi tersebut diduga sebagai penyebab infeksi pada pasien. Informasi mengenai serovar penyebab infeksi ini sangat berguna dalam kajian epidemiologi untuk memahami pola penyebaran penyakit. Proses uji MAT sendiri dimulai dari tahap persiapan kultur antigen *Leptospira*, pemeriksaan pertumbuhan kultur, pengambilan kultur yang sesuai, hingga pelaksanaan uji MAT itu sendiri (Jayasundara et al., 2021).

Uji Aglutinasi Mikroskopis (MAT) telah lama diakui sebagai metode referensi (*gold standard*) dalam diagnosis serologis *Leptospirosis*. Uji ini bekerja dengan mendeteksi keberadaan antibodi spesifik terhadap *Leptospira* dalam serum pasien melalui pengamatan aglutinasi antara *Leptospira* hidup dan antibodi yang ada. Penggunaan MAT secara luas didukung oleh tingkat spesifisitasnya yang tinggi serta kemampuannya dalam mengidentifikasi berbagai serovar. MAT memiliki beberapa keterbatasan, salah satunya adalah kebutuhan akan pengambilan sampel serum secara berpasangan dalam rentang waktu beberapa minggu untuk mendeteksi peningkatan kadar antibodi, yang dapat menghambat proses diagnosis secara cepat. Selain itu, pelaksanaan MAT membutuhkan laboratorium dengan fasilitas memadai dan tenaga ahli khusus, sehingga kurang ideal untuk diterapkan di daerah dengan keterbatasan sumber daya, di mana kasus *Leptospirosis* justru lebih sering ditemukan. (Ciurariu et al., 2025).

d. Metode Rapid Test

Rapid test atau tes cepat merupakan metode diagnostik yang digunakan untuk mendeteksi keberadaan antigen atau antibodi dalam tubuh secara cepat. Rapid test banyak digunakan sebagai langkah awal dalam proses skrining karena hasilnya dapat diperoleh dalam waktu singkat, yaitu sekitar 15 menit. Rapid test tidak memerlukan alat laboratorium yang kompleks, sehingga cocok diterapkan di daerah dengan sumber daya terbatas (Herman et al., 2023).

Rapid test antibodi bekerja dengan mendeteksi antibodi *Immunoglobulin M* (IgM) dan *Immunoglobulin G* (IgG) dalam darah. IgM merupakan antibodi pertama yang muncul sebagai respons awal terhadap infeksi, sedangkan IgG muncul kemudian dan memberikan perlindungan jangka panjang. Prinsip kerja rapid test antibodi adalah menggunakan sampel darah, serum, atau plasma yang ditempatkan

pada alat uji. Sampel ini akan menyerap secara kapiler dan bercampur dengan konjugat pewarna antigen. Jika antibodi dalam sampel berada di atas ambang batas deteksi, maka akan muncul garis warna pada pita uji yang menunjukkan hasil positif (Putri et al., 2023).

Pengujian ini dilakukan untuk mendeteksi IgM *Leptospira*. Deteksi *Leptospira-specific immunoglobulin M* menggunakan sistem *lateral flow*. Sistem ini terdiri dari suatu pita nitroselulosa yang dilapisi salah satu sisinya dengan bantalan *reagen dried colloidal gold labeled anti human IgM antibody* dan bantalan penyerap pada sisi yang lain. Ketika sampel ditetaskan ke dalam sumur sampel dan diikuti dengan penambahan larutan *buffer*, maka sampel dan *antibody-gold conjugate* akan bergerak sepanjang membran yang selanjutnya akan membentuk garis berwarna (Ningsih & Wahid, 2022b). Cara kerja *rapid test Leptospira IgM/IgG* yaitu mengeluarkan alat uji *Leptospira IgM/IgG* dari kemasan dan segera digunakan kemudian melakukan penusukan jari (*fingerstick*) dan darah di ujung jari diambil dengan pipet evendorf sebanyak 20 ul, memasukan darah ke dalam lubang S pada alat uji *Leptospira*, menambahkan 2 tetes *buffer*. Dan tunggu 15 menit dan baca hasil (Bahar et al., 2019).

Salah satu keunggulan utama rapid test adalah proses pemeriksaan yang cepat, dengan hasil yang dapat diperoleh dalam waktu antara 15 menit hingga 2 jam, tergantung pada jenis metode yang digunakan. Selain itu, rapid test dapat dilakukan di fasilitas pelayanan kesehatan primer tanpa memerlukan peralatan laboratorium yang kompleks, sehingga sangat membantu dalam skrining awal atau penapisan kasus secara luas di lapangan. Meski demikian, rapid test juga memiliki beberapa keterbatasan. Tingkat sensitivitas dan spesifisitas alat sangat bervariasi tergantung pada jenis metode yang digunakan serta waktu pengambilan sampel. Alat yang hanya mendeteksi antibodi IgG tidak dapat membedakan apakah infeksi yang terjadi bersifat baru atau sudah lama (Levett et al., 2001).

Selain itu, hasil negatif tidak selalu menyingkirkan kemungkinan adanya infeksi, terutama jika pemeriksaan dilakukan pada fase awal penyakit saat antibodi belum terbentuk dalam jumlah yang cukup. Oleh karena itu, meskipun praktis dan cepat, hasil dari rapid test tetap harus dipertimbangkan dalam konteks klinis dan dikonfirmasi dengan pemeriksaan lanjutan apabila diperlukan (Levett et al., 2001). Penggunaan Rapid Test tetap penting dalam konteks skrining massal dan pelacakan kontak. Namun, hasil negatif tidak selalu berarti seseorang bebas dari infeksi karena antibodi mungkin belum terbentuk atau berada dalam kadar rendah pada fase awal penyakit (Putri et al., 2023).

Salah satu metode rapid test yang paling umum digunakan adalah *lateral flow immunoassay* (LFIA). Metode ini menggunakan pita

membran nitroselulosa yang dilapisi dengan reagen spesifik, seperti antibodi atau antigen target. Saat sampel ditambahkan, cairan bergerak secara kapiler melalui membran dan bereaksi dengan konjugat berlabel, misalnya emas koloidal atau fluorokrom. Jika antigen atau antibodi target terdapat dalam sampel, terbentuk garis berwarna pada pita uji sebagai indikator positif. Metode ini sangat populer karena sederhana, cepat, dan dapat diterapkan di berbagai kondisi lapangan (Omidfar et al., 2023).

Rapid test dapat dibedakan berdasarkan tujuan pemeriksaannya, antara lain untuk deteksi antigen maupun antibodi. Metode *sandwich assay* digunakan terutama untuk mendeteksi antigen, di mana antigen target akan membentuk kompleks dengan antibodi berlabel di strip uji sehingga menghasilkan sinyal visual. Sedangkan metode *indirect* atau *competitive assay* digunakan untuk mendeteksi antibodi, seperti IgM atau IgG, di mana antibodi dalam sampel akan bereaksi dengan antigen pada strip uji untuk menghasilkan garis indikator jika konsentrasi antibodi cukup (Pei et al., 2023).

Keunggulan rapid test meliputi kecepatan pemeriksaan, kemudahan penggunaan, biaya relatif rendah, serta kemampuan dilakukan di fasilitas pelayanan kesehatan primer maupun lapangan. Metode ini efektif untuk skrining awal, pelacakan kontak, dan pemantauan epidemiologi (Gunardi, 2021). Namun, rapid test juga memiliki keterbatasan, seperti sensitivitas dan spesifisitas yang bervariasi tergantung kualitas reagen, metode, dan waktu pengambilan sampel. Hasil negatif tidak selalu menyingkirkan kemungkinan infeksi, terutama pada fase awal penyakit sebelum antibodi terbentuk. Oleh karena itu, hasil rapid test sering perlu dikonfirmasi dengan pemeriksaan laboratorium standar, seperti PCR atau ELISA, agar diagnosis lebih akurat (Yusra, 2019).

2.4 Tinjauan Umum Tentang Lingkungan Yang Mempengaruhi Penyebaran *Leptospira*

a. Keberadaan Genangan Air

Curah hujan yang tinggi dapat menyebabkan banjir dan memperbanyak genangan air, yang pada akhirnya memperluas penyebaran bakteri *Leptospira*. Selain itu, tekstur tanah juga berperan dalam pembentukan genangan, tanah yang lembek lebih mudah menahan air dibandingkan dengan tanah bertekstur keras, sehingga menciptakan lingkungan yang mendukung bagi bakteri tersebut. Ketinggian suatu daerah turut memengaruhi aliran air, di mana daerah yang lebih rendah cenderung sulit mengalirkan air, sehingga terbentuk lebih banyak genangan. Genangan ini dapat menjadi tempat bagi tikus untuk membuang urin yang berpotensi mengandung bakteri *Leptospira*, yang dapat menginfeksi manusia melalui kontak dengan air yang terkontaminasi (Aisyah Sijid et al., 2022).

Bakteri *Leptospira* dapat bertahan di genangan air selama beberapa bulan, sehingga meningkatkan risiko infeksi pada manusia. Jika seseorang bersentuhan dengan air yang telah terkontaminasi tanpa menggunakan alat pelindung diri, bakteri ini dapat dengan mudah masuk ke dalam tubuh dan menyebabkan penyakit. Selain itu, luasnya area banjir juga berperan dalam penyebaran Leptospirosis. Semakin besar wilayah yang terdampak, semakin tinggi kemungkinan penyebaran penyakit, terutama jika terdapat tikus yang telah terinfeksi *Leptospira* dan membuang urinnya di area tersebut. Genangan air yang tercemar urin hewan terinfeksi dapat mempercepat penyebaran bakteri *Leptospira* di lingkungan. Air yang mengandung bakteri ini dapat dengan mudah menyebar dan meningkatkan risiko penularan Leptospirosis pada manusia (Aisyah Sijid et al., 2022).

Suhu, kelembaban, dan curah hujan merupakan faktor lingkungan yang memengaruhi kelangsungan hidup bakteri *Leptospira*. Kasus Leptospirosis biasanya meningkat saat musim hujan. Pekerja lapangan, seperti petani, berisiko tinggi terinfeksi karena sering terpapar air dalam waktu lama. Bakteri *Leptospira* dapat masuk ke tubuh melalui kulit yang terluka. Paparan air tanpa alas kaki dalam jangka waktu lama juga meningkatkan risiko penularan. Selain itu, sebagian masyarakat masih bersentuhan dengan urin hewan tanpa disadari akibat kurangnya perilaku pencegahan. Penelitian juga menunjukkan penerapan perilaku higienis, seperti mencuci tangan secara teratur dan mengonsumsi air bersih, berperan dalam mencegah paparan terhadap patogen *Leptospira* (Jittimanee & Wongbutdee, 2021).

Air yang tergenang, terutama di daerah dengan iklim sedang atau kawasan hutan dengan aliran lambat, berperan dalam penyebaran Leptospirosis. Kelompok usia produktif yang tinggal di daerah padat penduduk atau kumuh lebih rentan terinfeksi, terutama di area yang sering tergenang air dan terdapat hewan reservoir. Tikus membuang urine di genangan air, yang menjadi tempat penyebaran bakteri *Leptospira*. Bakteri ini bisa bertahan di air yang tercemar selama beberapa minggu hingga berbulan-bulan. Infeksi terjadi ketika seseorang kontak langsung dengan air terkontaminasi melalui membran mukosa seperti mata, hidung, atau mulut (Sunardi et al., 2023).

b. Keberadaan Sampah

Sampah memiliki dampak negatif yang besar terhadap kesehatan dan kehidupan masyarakat. Jika sampah dibuang sembarangan atau tidak dikelola dengan baik, dampak buruk terhadap kesehatan bisa muncul. Setiap hari, setiap keluarga menghasilkan sampah, baik organik maupun anorganik, yang perlu dikelola dengan cara yang berkelanjutan. Tanpa pengelolaan yang tepat, sampah bisa menimbulkan masalah kesehatan yang serius. Namun, banyak masyarakat yang memilih cara

praktis dengan membuang sampah ke sungai atau selokan karena keterbatasan waktu untuk mengelola sampah dengan baik (Majdi M et al., 2024).

Masalah kesehatan dapat muncul jika pengelolaan sampah yang buruk terus dibiarkan. Sampah yang menumpuk dapat menjadi sarang bagi vektor pembawa penyakit, seperti tikus. Ketika musim hujan tiba, sampah-sampah tersebut menghambat aliran air di saluran-saluran air, menyebabkan air tidak bisa mengalir dengan lancar. Air yang mengendap cukup lama menjadi tempat berkembang biak bagi ancaman penyakit. Salah satu penyakit yang dapat timbul akibat kondisi ini adalah Leptospirosis, yang dibawa oleh tikus (Majdi M et al., 2024).

Tempat pembuangan sampah yang terbuka menjadi tempat yang disukai tikus karena adanya tumpukan sampah, seperti sisa makanan, ikan, dan roti. Sampah yang ada di sekitar rumah dapat meningkatkan populasi tikus. Selain itu, kondisi sampah yang tidak dikelola dengan baik di dalam rumah juga dapat mempengaruhi keberadaan tikus. Penelitian Nugroho mengungkapkan bahwa sampah, terutama sisa makanan manusia di tempat sampah terbuka, berhubungan dengan penyebaran Leptospirosis. Penelitian Masi dkk. di Sao Paulo juga menunjukkan bahwa infestasi tikus sangat bergantung pada akses mereka terhadap sumber makanan, yaitu tempat pembuangan sampah, yang terjadi di sepertiga wilayah kota tersebut. Probabilitas keberadaan tikus 1,6 kali lebih tinggi jika ada sumber makanan (Husni et al., 2023).

Sampah memiliki keterkaitan erat dengan kesehatan masyarakat karena dapat menjadi tempat berkembang biaknya berbagai mikroorganisme patogen serta serangga yang berperan sebagai vektor penyakit. Oleh karena itu, pengelolaan sampah yang baik sangat penting untuk mencegah risiko kesehatan. Sampah tidak boleh dibiarkan di tempat terbuka lebih dari 24 jam agar tidak menarik tikus dan harus ditempatkan dalam wadah yang mencegah timbulnya genangan air. Sampah organik yang mudah membusuk menjadi media pertumbuhan mikroorganisme dan menarik vektor penyakit, seperti lalat, kecoa, serta tikus. Oleh karena itu, pengelolaan sampah yang tidak terkontrol dapat menimbulkan berbagai risiko kesehatan dan harus ditangani dengan baik untuk mencegah dampak negatif terhadap masyarakat serta lingkungan (Mely Fitry & Yulis Marita, 2023).

Tempat pembuangan sampah terbuka merupakan lokasi yang sangat disukai oleh tikus, karena menyediakan berbagai jenis sisa makanan seperti ikan, roti, dan limbah organik lainnya yang menjadi sumber makanan mereka. Berdasarkan hasil penelitian ini, ditemukan adanya hubungan yang signifikan antara keberadaan sampah dengan ditemukannya tikus yang positif mengandung bakteri *Leptospira* ($p = 0,000$). Penelitian serupa yang dilakukan oleh Setyaningsih dan rekan-rekannya (2022) di Kabupaten Boyolali juga menunjukkan adanya

korelasi yang signifikan antara keberadaan sampah dengan kasus Leptospirosis. Hal ini menunjukkan bahwa keberadaan sampah dapat meningkatkan risiko penularan Leptospirosis hingga 2,13 kali lebih besar (Setyaningsih et al., 2022).

Sampah rumah tangga meliputi berbagai jenis limbah yang berasal dari dapur, kamar mandi, area cuci, sisa aktivitas industri rumahan, serta tinja manusia. Limbah sendiri merupakan bahan sisa yang tidak lagi dimanfaatkan, baik dalam bentuk cair, gas, maupun padat. Air limbah sering kali mengandung zat kimia yang sulit terurai dan dapat menjadi media tumbuhnya mikroorganisme penyebab penyakit seperti kolera, tifus, disentri, dan penyakit menular lainnya. Oleh karena itu, proses pengolahan air limbah menjadi sangat penting guna mencegah pencemaran dan menjaga kelestarian lingkungan (Rasyid et al., 2024).

Tutup sampah seharusnya selalu ada di setiap tempat sampah karena keduanya memiliki peran yang tidak terpisahkan. Tanpa tutup yang baik, tempat sampah dapat menimbulkan masalah, seperti bau busuk yang menyebar dan membuat lingkungan menjadi tidak bersih. Tempat sampah yang memenuhi syarat kesehatan dapat menciptakan lingkungan yang bersih, nyaman, dan menghindarkan dari hewan atau serangga pembawa penyakit. Pengelolaan sampah yang buruk akan berdampak negatif, termasuk pencemaran udara. Tumpukan sampah dari tempat sampah terbuka dapat menyebabkan pelepasan gas ke udara, yang disertai bau busuk akibat proses penguraian mikroorganisme, dan mengganggu keseimbangan lingkungan (Mar et al., 2022).

c. Keberadaan Tikus & Akses Tikus Kedalam Rumah

Tikus merupakan hewan pengerat yang bersifat omnivora atau pemakan segala, dan sering kali menyebabkan kerusakan serta kerugian di berbagai aspek kehidupan manusia, termasuk sektor pertanian, perkebunan, permukiman, hingga kesehatan. Kehadiran tikus sebagai vektor penyakit dapat dikenali melalui tanda-tanda seperti kotorannya di dalam rumah, bekas gigitan, jejak, maupun bangkainya yang ditemukan di sekitar saluran pembuangan limbah. Selain itu, tikus juga diketahui berperan dalam penularan berbagai penyakit pada manusia, seperti Yersiniosis, Leptospirosis, dan Salmonellosis. Salah satu indikator keberadaan tikus sebagai vektor penyakit adalah ditemukannya kotoran tikus di dalam rumah, adanya bekas gigitan, jejak, serta bangkai tikus di area sekitar saluran pembuangan limbah, jalan, pagar, bahkan di dalam rumah penduduk (Ilmu et al., 2019).

Tikus dikategorikan sebagai hama karena dapat menimbulkan berbagai kerugian bagi manusia, salah satunya adalah pencemaran lingkungan melalui rambut, kotoran, dan urin yang dapat mencemari makanan. Keberadaan tikus sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan tempat mereka hidup, terutama yang menyediakan sumber makanan

dan air. Beberapa faktor lingkungan yang dapat memengaruhi populasi tikus antara lain keberadaan predator alami, suhu udara, pencahayaan, keberadaan sarang tikus, tingkat kelembaban, kondisi tempat sampah dan saluran air yang tidak terawat, riwayat terjadinya banjir, serta adanya genangan air di sekitar tempat tinggal. Menurut Samekto, faktor yang berkontribusi terhadap munculnya kasus Leptospirosis adalah keberadaan tikus di dalam maupun sekitar rumah. Hal ini berkaitan dengan kondisi lingkungan pemukiman yang sering kali menjadi tempat yang ideal bagi tikus untuk berkembang biak (Husni et al., 2023).

Tikus memiliki peran yang signifikan sebagai reservoir berbagai penyakit yang berdampak besar terhadap kehidupan, kesejahteraan, keselamatan, serta kondisi sosial ekonomi masyarakat. Penularan penyakit yang dibawa oleh tikus dapat berlangsung secara langsung maupun tidak langsung, salah satunya melalui perantara ektoparasit. Ektoparasit pada tikus turut berkontribusi dalam menyebarkan penyakit ke manusia, karena berperan sebagai vektor biologis. Tikus yang terinfeksi bakteri *Leptospira* dan hidup di sekitar area permukiman berpotensi menularkan bakteri tersebut kepada manusia, terutama bila kondisi lingkungan mendukung. Faktor-faktor seperti sanitasi yang buruk, sistem pembuangan sampah yang tidak memadai, dan cara penyimpanan makanan yang sembarangan dapat memperbesar peluang penularan serta mendukung kelangsungan hidup tikus dan ektoparasitnya (Arasy et al., 2023).

Keberadaan tikus sebagai reservoir yang teridentifikasi positif membawa bakteri *Leptospira* merupakan salah satu faktor risiko utama terjadinya penyakit Leptospirosis. Dalam penelitian ini, bakteri *Leptospira* ditemukan menetap di bagian tubulus ginjal tikus (Samekto et al., 2019). Semua spesies tikus memiliki potensi untuk menjadi inang dari berbagai jenis parasit. Ektoparasit biasanya ditemukan di bagian luar tubuh seperti rambut, sedangkan endoparasit berada di organ-organ dalam seperti usus, hati, jantung, dan paru-paru. Karena kemampuannya membawa ektoparasit dan endoparasit, tikus berpotensi menularkan berbagai penyakit, termasuk pes dan Leptospirosis (Manyullei et al., 2019).

Tikus bisa masuk ke rumah lewat berbagai jalur. Karena itu. Indikator yang dilihat meliputi adanya kabel atau tali, tangga yang menempel di dinding, pohon yang menyentuh atap, atau jalur lain yang memungkinkan tikus naik ke atap. Jika salah satu indikator ditemukan, maka lokasi dianggap berisiko. (Manyullei et al., 2022) Identifikasi keberadaan serta jenis serotipe bakteri *Leptospira* sangat penting, mengingat penularannya dapat terjadi secara langsung melalui urin dan cairan tubuh hewan yang terinfeksi, maupun secara tidak langsung melalui kontak dengan air atau tanah yang sudah tercemar (Karpagam

& Ganesh, 2020). Tikus mampu mengeluarkan bakteri *Leptospira* melalui urinnya secara terus-menerus sepanjang hidupnya, sehingga menjadi sumber utama penularan Leptospirosis, terutama pada manusia (Putz & Nally, 2020).

Tikus dapat masuk ke dalam rumah melalui berbagai jalur, baik yang terlihat jelas maupun yang tersembunyi. Oleh karena itu, penting untuk mengkaji kemungkinan adanya jalur yang dapat dimanfaatkan tikus untuk mencapai atap rumah. Beberapa indikator yang perlu diamati meliputi keberadaan kabel atau tali yang menggantung, tangga yang menempel di dinding, pohon yang menyentuh atap, serta jalur lain yang berpotensi menjadi akses bagi tikus. Observasi dilakukan dengan melihat kondisi di sekitar halaman rumah. Jika ditemukan salah satu dari indikator tersebut, maka lokasi dianggap berisiko menjadi jalur masuk tikus. Identifikasi ini penting sebagai upaya awal dalam mencegah keberadaan tikus di dalam rumah (Manyullei et al., 2022).

d. Kondisi Selokan

Selokan merupakan tempat yang sering dijadikan tempat tinggal tikus ataupun jalur masuk tikus ke dalam rumah. Hal ini dikarenakan kondisi buangan air dari dalam rumah pada umumnya terdapat saluran yang terhubung dengan selokan di lingkungan rumah. Kondisi selokan dikategorikan berisiko dan tidak berisiko. Kondisi selokan berisiko adalah kondisi selokan yang salah satu kriteria tidak terpenuhi (aliran selokan tersumbat/tidak lancar, terdapat sampah, dilewati tikus, kondisi selokan terbuka). Kondisi selokan tidak berisiko jika aliran selokan lancar, tidak terdapat sampah, tidak dilewati tikus dan kondisi selokan tertutup (Mar et al., 2022).

Kondisi selokan yang buruk meningkatkan risiko tertular Leptospirosis hingga 5.762 kali lebih besar. Selokan yang tidak terawat menjadi jalur yang sering dilalui tikus, yang membawa potensi penyebaran penyakit. Adanya saluran pembuangan yang terbuka serta kotoran di sekitar rumah semakin memperbesar kemungkinan tikus mendekat ke pemukiman. Kondisi ini memungkinkan terjadinya kontak dengan kotoran tikus yang terkontaminasi bakteri *Leptospira*, baik secara langsung maupun tidak langsung (Alfazcha & Sukendra, 2020).

Selokan atau saluran pembuangan air limbah seringkali menjadi jalur masuk atau tempat tinggal bagi tikus. Berdasarkan penelitian Sukismanto, penangkapan tikus di dalam rumah lebih tinggi di rumah yang memiliki saluran limbah terbuka dibandingkan dengan yang tertutup. Hal ini sejalan dengan temuan penelitian Rahmawati, yang menunjukkan bahwa 87% rumah dengan kondisi selokan buruk memiliki jumlah tikus yang tertangkap lebih banyak. Selokan yang tidak terawat menjadi salah satu faktor utama penyebaran tikus ke dalam rumah (Husni et al., 2023).

Salah satu factor peran penting dalam penyebaran Leptospirosis adalah selokan, ketika air yang mengandung bakteri *Leptospira* meluap dikarenakan hujan deras yang menyebabkan banjir ini dapat mempermudah kontak langsung antara manusia dan air yang tercemar. Selokan atau saluran pembuangan limbah yang tidak dikelola dengan baik, menjadi vektor utama penyebaran penyakit Leptospirosis. Selokan yang terbuka akan mengundang tikus, terutama *Rattus norvegicus*, dapat menjadi reservoir bakteri *Leptospira*. Paparan air selokan yang terkontaminasi bakteri *Leptospira* akan meningkatkan risiko penularan Leptospirosis dikarenakan peningkatan jumlah tikus. (Widjajanti, 2020).

e. Ketersediaan Air Bersih

Air merupakan kebutuhan mendasar yang digunakan manusia setiap hari. Jika sumber dan standar kesehatannya tidak diperhatikan, air dapat menjadi perantara penyebaran penyakit. Penyediaan air bersih menjadi salah satu langkah penting dalam meningkatkan kualitas kesehatan masyarakat. Ketersediaan air yang berkualitas baik sangat diperlukan untuk memenuhi kebutuhan dasar manusia. Air yang terkontaminasi berpotensi menularkan berbagai penyakit, seperti *waterborne disease* (penyakit yang ditularkan melalui air), *water-washed disease* (penyakit akibat penggunaan air yang terkontaminasi), *water-based disease* (penyakit berbasis air), serta *water-related insect vector disease* (penyakit yang ditularkan melalui gigitan serangga yang berkembang biak di dalam air) (Majdi M et al., 2024)

Air bersih harus memenuhi beberapa persyaratan agar aman untuk dikonsumsi dan digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Dari segi fisik, air harus jernih, tidak memiliki bau, serta tidak berasa, dengan suhu yang tidak jauh berbeda dari suhu udara sekitar (dengan toleransi $\pm 3^{\circ}\text{C}$). Secara kimiawi, kandungan zat kimia dalam air tidak boleh melebihi batas yang ditentukan agar tidak membahayakan kesehatan. Dari aspek bakteriologis dan mikrobiologis, air harus bebas dari kuman patogen serta parasit yang dapat menyebabkan penyakit. (Rolia et al., 2023).

Keterbatasan akses terhadap sumber air bersih yang memenuhi standar sanitasi dapat menjadi penyebab utama penyebaran Leptospirosis. Penyakit ini ditularkan melalui kontak dengan air yang terkontaminasi bakteri *Leptospira icterohaemorrhagiae*, sehingga air yang digunakan masyarakat dalam aktivitas sehari-hari berisiko mengandung bakteri tersebut. Untuk mencegah pencemaran air bersih oleh *Leptospira*, salah satu metode yang dapat diterapkan adalah dengan menambahkan kaporit sebagai desinfektan. Kaporit dipilih karena proses klorinasi yang sederhana, biaya yang terjangkau, serta kemudahan dalam penggunaannya. Klorin banyak digunakan dalam pengolahan air karena efektivitasnya pada konsentrasi rendah dan

kemampuannya untuk membentuk residu jika dosisnya tepat (Rudijanto Indro Wardono & Subagiyo, 2022).

f. Kondisi Saluran Pembuangan Air Limbah

Saluran Pembuangan Air Limbah (SPAL) idealnya dibuat dari bahan yang kedap air agar tidak mencemari sumber air bersih, tidak menyebabkan genangan, tidak menimbulkan bau, serta tidak menjadi tempat berkembang biaknya vektor penyakit atau hewan pengganggu. Suatu sistem pembuangan air limbah dikategorikan layak apabila tersedia saluran pembuangan yang dialirkan menuju selokan tertutup untuk selanjutnya dilakukan proses pengolahan. SPAL sendiri merupakan fasilitas yang dirancang untuk menampung dan menyalurkan air limbah rumah tangga yang berasal dari berbagai sumber, seperti kran atau hidran umum, tempat cuci tangan, kamar mandi, dapur, dan sebagainya (Rasyid et al., 2024).

Saluran pembuangan air limbah, seperti got, merupakan salah satu tempat yang sering dimanfaatkan tikus sebagai tempat tinggal maupun jalur untuk keluar masuk ke dalam rumah. Gorong-gorong juga menjadi habitat yang umum bagi tikus. Jika saluran ini terkontaminasi oleh urin tikus yang mengandung bakteri *Leptospira*, maka dapat menjadi sumber penularan penyakit *Leptospirosis*. Kondisi saluran air limbah yang tidak terawat atau rusak dapat memudahkan tikus masuk ke area pemukiman, sehingga meningkatkan risiko kontak langsung maupun tidak langsung dengan tikus dan kotorannya. Selain itu, sistem drainase yang buruk, seperti talang air yang meluap saat hujan, dapat menimbulkan genangan di sekitar rumah. Luapan ini sering kali disebabkan oleh adanya bendungan atau penghalang dari beton yang menghambat penyerapan air oleh tanah (Ilma et al., 2023).

Tabel 2.1 Tabel Sintesa Lingkungan Yang Mempengaruhi Penyebaran Leptospira

No	Peneliti (Tahun) dan Sumber Jurnal	Judul dan Nama Jurnal	Desain Penelitian dan Metode Analisis	Sampel	Temuan
1	Sunardi, et al., (2023) https://e-journals.unmul.ac.id/index.php/MJPH/article/view/13257/pdf	<i>"Determinan Faktor Lingkungan Kejadian Leptospirosis Di Kabupaten Klaten"</i> Jurnal Kesehatan Masyarakat Mulawarman	Penelitian kuantitatif dengan rancangan case control study dan metode analisa data menggunakan uji chi square dan OR	Penderita Leptospirosis di Kabupaten Klaten yaitu 80 kasus penderita Leptospirosis.	- Genangan air meningkatkan risiko Leptospirosis 7,667 kali lebih besar ($p=0,0001$). - Kondisi selokan buruk meningkatkan risiko Leptospirosis 4,889 kali lebih besar ($p=0,002$). - Keberadaan tikus meningkatkan risiko Leptospirosis 5,537 kali lebih besar ($p=0,001$)
2	Husni et al., (2023) https://doi.org/10.14710/jkli.22.2.134-141	<i>"Faktor Lingkungan Yang Berpengaruh Terhadap Keberadaan Tikus Serta Identifikasi Bakteri Leptospira sp. di Pemukiman Sekitar Pasar Kota Semarang Tahun 2022"</i> (JKLI), Vol. 22 No. 2, 2023	Desain penelitian menggunakan Cross sectional study dengan metode analisis bivariat menggunakan chi square dan analisis multivariat	100 rumah yang berada dalam radius 300 meter dari pasar Pasar Kedungmundu dan 48 ekor tikus yang tertangkap dalam 2 hari pengamatan.	Ada hubungan antara kondisi selokan ($p=0,016$) dengan kepadatan tikus.

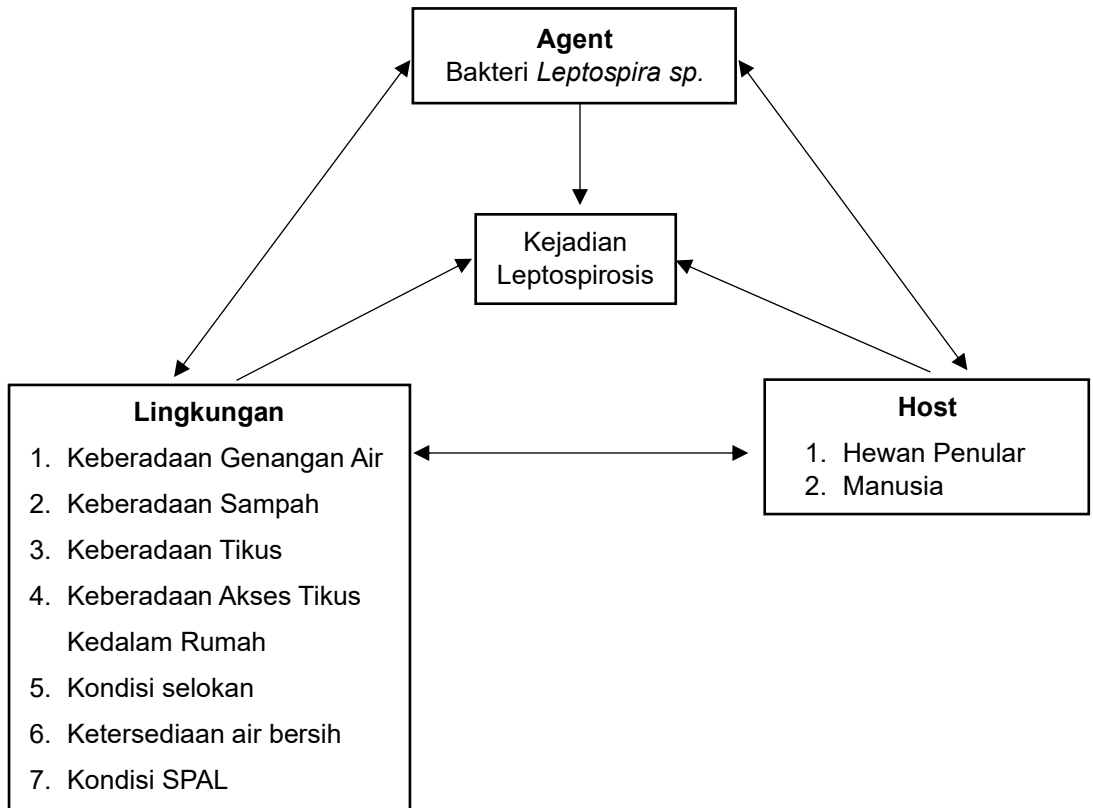
No	Peneliti (Tahun) dan Sumber Jurnal	Judul dan Nama Jurnal	Desain Penelitian dan Metode Analisis	Sampel	Temuan
3	Dwi et al., (2023) https://publikasi.dinus.ac.id/index.php/johhs/article/download/8729/4278/37446	<i>"Analisis Spasial Kasus Leptospirosis Berdasarkan Faktor Epidemiologi dan Faktor Resiko Lingkungan" Journal Occupational Health Hygiene And Safety</i>	Desain penelitian menggunakan studi deskriptif kuantitatif dan metode analisis deskriptif	5 rumah kos di Kota Semarang (D'Cozy, Kos Putri Pak Paryono, Kos Wanita Neo, Kos Yuka, Kos Putri Akasia)	4 dari 5 rumah kos tidak memiliki tutup tempat dengan tidak adanya tutup tempat sampah maka dapat timbul beberapa masalah pada lingkungan sekitarnya, mulai dari bau busuk yang menyebar dan membuat keadaan lingkungan menjadi kurang bersih dan dapat mengundang tikus yang dapat menyebarkan Leptospira.
4	Alfazcha & Sukendra (2020) https://doi.org/10.15294/higeia/v4i4/36324	<i>"Analisis Spasial Kasus Leptospirosis Berdasarkan Faktor Epidemiologi dan Faktor Risiko Lingkungan" HIGEIA Journal of Public Health Research and Development</i>	<i>Penelitian deskriptif kuantitatif menggunakan desain penelitian cross sectional dan metode Univariat Analisis Spasial (ANN, buffer, overlay)</i>	13 sampel (total kasus Leptospirosis di Kecamatan Karangtengah pada tahun 2018)	- 61% responden tinggal di daerah dengan riwayat banjir, 39% dengan riwayat rob. - 54% responden memiliki kondisi selokan buruk. - 61% responden memiliki tempat pembuangan sampah yang buruk. - Pola persebaran kasus Leptospirosis mengelompok (clustered pattern).

No	Peneliti (Tahun) dan Sumber Jurnal	Judul dan Nama Jurnal	Desain Penelitian dan Metode Analisis	Sampel	Temuan
5	Widjajanti (2020) https://dx.doi.org/10.22435/jhecds.v5i2.174	"Epidemiologi, Diagnosis, dan Pencegahan Leptospirosis "HECDs (Journal of Health, Epidemiology, and Community Disease)	<i>Studi Literatur Menggunakan analisis Kualitatif</i>	46 artikel terkait epidemiologi, diagnosis, dan pencegahan Leptospirosis	- Leptospirosis banyak ditemukan di daerah tropis dan terjadi karena interaksi kompleks antara pembawa penyakit, tuan rumah, dan lingkungan. - Faktor risiko utama: sanitasi buruk, pekerjaan berisiko tinggi (petani, pekerja dan ternak)
6	Majdi, et al., (2024) https://journal.universitaspahlawan.ac.id/index.php/jrpp/article/view/29290	" <i>Pengelolaan Sampah Rumah Tangga dan Peta Sanitasi di Dusun Peresak, Desa Darmaji, Kecamatan Kopang, Kabupaten Lombok Tengah Tahun 2024</i> " Jurnal Review Pendidikan dan Pengajaran	Metode penelitiannya deskriptif dengan pendekatan observasional menggunakan desain <i>Crossectional</i>	330 rumah di Dusun Peresak, Desa Darmaji, Kecamatan Kopang, Kabupaten Lombok Tengah	- 68% sampah dibuang sembarangan, Sampah yang menumpuk menjadi tempat tinggal bagi tikus, yang merupakan reservoir utama Leptospirosis. - Air sumur gali yang digunakan oleh 93% rumah berpotensi tercemar bakteri <i>Leptospira</i> jika tidak dikelola dengan baik, terutama jika lokasi sumur dekat dengan daerah pembuangan sampah atau drainase yang terkontaminasi.

No	Peneliti (Tahun) dan Sumber Jurnal	Judul dan Nama Jurnal	Desain Penelitian dan Metode Analisis	Sampel	Temuan
7	Wardono, et al., (2022) https://journals2.ums.ac.id/index.php/warta/article/download/1033/294/3379	<i>"Pencegahan Penyakit Leptospirosis dengan Pengaplikasian Kaporit di Wilayah Puskesmas Ajibarang"</i> Jurnal Warta LPM	Studi Eksperimental (Pengabdian Masyarakat) DAN Metode analisis deskriptif	Masyarakat di wilayah erja Puskesmas Ajibarang 1, Kabupaten Banyumas (Desa Darmakradenan, Tipar Kidul, Ajibarang Wetan)	- Air sumur gali dan perpipaan di daerah tersebut berisiko terkontaminasi <i>Leptospira</i> - Peningkatan kesadaran masyarakat akan pentingnya air bersih dalam pencegahan Leptospirosis.
8	Manyullei, et al., (2019) https://journal.unhas.ac.id/index.php/jnik/article/view/7970	<i>"Studi Kepadatan Tikus dan Ektoparasit di Pelabuhan Laut Soekarno Hatta Tahun 2019"</i> , LP2M Universitas Hasanuddin, Volume 2, Edisi 2, Tahun 2019	Observasional deskriptif dengan metode Analisis deskriptif berbasis hasil pengamatan dan identifikasi jenis tikus serta ektoparasit. Data disajikan dalam bentuk tabel dan narasi.	Tikus beserta ektoparasit yang menempel pada tubuhnya dengan jumlah sampel tikus 13 ekor.	- Semua tikus yang tertangkap teridentifikasi memiliki ektoparasit - Perlu peningkatan kesadaran kebersihan lingkungan di pelabuhan sebagai upaya pencegahan penyakit zoonosis (misalnya pes dan Leptospirosis)

No	Peneliti (Tahun) dan Sumber Jurnal	Judul dan Nama Jurnal	Desain Penelitian dan Metode Analisis	Sampel	Temuan
9	Manyullei, et al., (2022) https://ejournal.patria-artha.ac.id/index.php/jns/article/view/516/435	<i>"Identifikasi Endoparasit Pada Tikus di Tiga Area Pemdokan Mahasiswa Perguruan Tinggi Negeri Kota Makassar"</i>	Observasional deskriptif. Metode yang digunakan adalah analisis univariat.	29 ekor tikus - yang tertangkap selama 4 hari pemasangan perangkap di area pemondokan mahasiswa UIN, UNM, dan Unhas.	Sebanyak 21,7% keberadaan tikus ditemukan pada rumah dengan kondisi dinding yang tidak memenuhi syarat, 23,3% pada rumah yang memiliki jalur tikus menuju atap, dan 21,8% pada lingkungan yang terdapat tumpukan barang.

2.5 Kerangka Teori



Gambar 2.1 Kerangka Teori

Sumber: Modifikasi Teori Segitiga Epidemiologi dari John Gordon; Sunardi, et al., (2020) ; Husni, et al.,(2023); Dwie, et al., (2023); Alfazcha & Sukendra (2020); Widjajanti (2020); Majdi, et al., 2024; Wardono, et al., (2022); Manyullei, et al., (2022)