

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Tinjauan Umum Tuberkulosis

1. Definisi

Tuberkulosis (TB) adalah penyakit infeksi kronis yang menular, disebabkan oleh *Mycobacterium tuberculosis* yang berbentuk batang dan tahan asam, sehingga sering disebut Basil Tahan Asam (BTA). Sebagian besar infeksi *Mycobacterium tuberculosis* terjadi pada paru-paru (TB paru), namun bakteri ini juga dapat menginfeksi organ lain seperti tulang, kelenjar limfa, pleura, dan organ lainnya, yang dikenal sebagai TB ekstra paru (Kemenkes RI, 2019).

Mycobacterium tuberculosis adalah jenis bakteri berbentuk batang yang tahan asam. Bakteri ini termasuk gram positif dan tidak memiliki spora. Selain itu, dinding selnya kaya akan asam mikolat. Karena bakteri ini resisten terhadap molekul polar, mereka tumbuh secara perlahan sehingga mempengaruhi lamanya waktu pengobatan yang dibutuhkan (Joegijantoro, 2019).

2. Epidemiologi

Tuberkulosis adalah salah satu penyakit infeksi yang paling umum di dunia, dengan perkiraan sepertiga populasi terinfeksi dan menyebabkan 2,5 juta kematian setiap tahunnya. Menurut Laporan Tuberkulosis Global, tuberkulosis termasuk satu dari penyakit penyebab kematian di dunia selama tahun 2019. Secara geografis, pada data tahun 2021 sebagian besar kasus TB berada di wilayah Asia Tenggara (45%), Afrika (23%) dan Pasifik Barat (18%), dengan bagian yang lebih kecil di Mediterania Timur (8,1%), Amerika (2,9%) dan Eropa (2,2%). Delapan Negara yang menyumbang kasus terbanyak tuberkulosis yaitu India (28%), Indonesia (9,2%), Cina (7,4%) Filipina (7,0%), Pakistan (5,8%), Nigeria (4,4%), Bangladesh (3,6%) dan Republik Kongo (2,9%). Diperkirakan sebanyak 10,6 juta orang di dunia yang meninggal dikarenakan tuberkulosis pada tahun 2021. Tuberkulosis dapat menyerang siapa saja, tanpa memandang

usia atau jenis kelamin. Dari semua kasus tuberkulosis pada tahun 2021, 56,5% di antaranya terjadi pada pria dewasa, 32,5% pada wanita dewasa, dan 11% pada anak-anak di bawah 15 tahun (*World Health Organization*, 2022).

Menurut Kementerian Kesehatan Republik Indonesia (2022), diperkirakan ada sekitar 969.000 kasus tuberkulosis, dengan tingkat keberhasilan pengobatan sebesar 86% dan 15.186 kematian akibat penyakit ini. Penyakit tuberkulosis tersebar di seluruh wilayah kepulauan dan provinsi di Indonesia dengan jumlah kasus yang beragam di tiap-tiap kepulauan. Pada provinsi Sulawesi Tenggara jumlah kejadian tuberkulosis yang dilaporkan yaitu 3.705 kasus pada tahun 2023. Sebaran penyakit tuberkulosis tertinggi terdapat pada kota Kendari dengan 876 kasus (Dinas Kesehatan Kota Kendari, 2023). Berdasarkan data awal yang diperoleh pada awal januari hingga mei 2024 dari puskesmas di wilayah kerja dinas kesehatan kota kendari yang merupakan puskesmas dengan penanganan tuberkulosis dan memiliki jumlah pasien yang banyak yaitu Puskesmas Lepo-Lepo sebanyak 71 pasien, Puskesmas Poasia sebanyak 40 pasien dan Puskesmas Puuwatu sebanyak 61 pasien.

3. Etiologi Tuberkulosis

Penularan tuberkulosis terjadi melalui percikan kecil atau droplet nucleus yang berukuran kurang dari 5 μm dan tersebar melalui udara dari satu orang ke orang lainnya. Droplet ini bisa keluar ketika penderita tuberkulosis batuk, bersin, atau berbicara. Percikan renik ini dapat bertahan di udara hingga 4 jam dan sangat infeksius. Dengan ukuran partikel antara 1 hingga 5 μm , percikan ini bisa mencapai ruang alveolar di paru-paru, di mana bakteri kemudian akan bereplikasi. Ada tiga faktor utama yang menentukan transmisi *Mycobacterium tuberculosis* yaitu jumlah organisme yang ada di udara, durasi paparan udara yang terkontaminasi, dan konsentrasi organisme di udara, yang dipengaruhi oleh volume ruang dan ventilasinya (Kemenkes RI, 2019).

Pasien dengan hasil pemeriksaan sputum negatif dianggap kurang infeksius dibandingkan mereka yang memiliki sputum positif, termasuk pada kasus tuberkulosis ekstra paru dan tuberkulosis laten. Percikan relik dapat bertahan lebih lama di udara jika ruangan memiliki pencahayaan dan ventilasi yang minim, sementara cahaya matahari diketahui dapat membunuh basil dengan cepat. Kondisi kekebalan tubuh juga penting untuk diperhatikan dalam perkembangan penyakit ini, karena peralihan dari infeksi menjadi tuberkulosis aktif sangat bergantung pada sistem kekebalan individu (Kemenkes RI, 2019).

4. Patogenesis Tuberkulosis

Mycobacterium dalam droplet berukuran 1-5 μm dihirup dan mencapai alveoli. Respons tubuh terhadap bakteri ini bergantung pada kekebalan individu, jumlah bakteri yang masuk, dan tingkat virulensi bakteri tersebut. Makrofag menangkap dan memfagosit bakteri, lalu membawanya ke sel T. Proses inflamasi menghasilkan nodul kecil berisi bakteri yang disebut tuberkel primer. Bagian tengah nodul mengalami kekurangan nutrisi, oksigen, dan penurunan pH, yang menyebabkan nekrosis. Kondisi ini dikenal sebagai pengkijuan; bagian tengah yang nekrotik bisa mengalami kalsifikasi atau mencair. Cairan ini bisa dikeluarkan melalui batuk, meninggalkan rongga yang disebut kaverne di parenkim paru (terlihat pada foto toraks). Jika sistem kekebalan tubuh kuat, bakteri tetap berada di paru-paru dalam keadaan dorman (tidur). Namun, jika kekebalan tubuh menurun akibat stres fisik atau emosional, bakteri bisa kembali aktif, berkembang biak, dan menyebabkan gejala tuberkulosis (TB aktif) (Nizar, 2017).

5. Faktor Risiko Tuberkulosis

Beberapa faktor risiko yang dapat mempengaruhi kejadian tuberkulosis yaitu :

a. Jenis kelamin

Jenis kelamin dapat menjadi faktor risiko untuk penyakit tuberkulosis. Di Indonesia, kasus tuberkulosis lebih sering terjadi pada laki-laki dibandingkan perempuan. Laki-laki memiliki risiko yang lebih tinggi untuk mengidap tuberkulosis dibandingkan perempuan (Pangaribuan *et al.* 2020).

b. Umur

Usia dapat mempengaruhi risiko terkena tuberkulosis. Risiko untuk terinfeksi tuberkulosis meningkat seiring bertambahnya usia, karena Kekebalan tubuh biasanya melemah seiring dengan bertambahnya usia, sehingga membuat seseorang lebih rentan terhadap penyakit. Orang yang berusia 55 tahun ke atas memiliki risiko 1,73 kali lebih besar dibandingkan dengan mereka yang berusia 15 hingga 34 tahun (Pangaribuan *et al.* 2020).

c. Pendidikan

Faktor pendidikan juga berpengaruh pada risiko terkena tuberkulosis. Tingkat pendidikan mempengaruhi pengetahuan seseorang tentang kondisi rumah yang sehat serta pengetahuan mengenai penyakit tuberkulosis (Pangaribuan *et al.* 2020).

d. Daerah tempat tinggal

Dilihat dari lokasi tempat tinggal, orang yang tinggal di daerah perkotaan memiliki risiko 1,5 kali lebih besar untuk terinfeksi tuberkulosis dibandingkan dengan mereka yang tinggal di daerah pedesaan. Hal ini disebabkan oleh polusi dan kepadatan penduduk di daerah perkotaan, yang meningkatkan kemungkinan terjangkit tuberculosi (Pangaribuan *et al.* 2020).

e. Faktor lingkungan dan fisik rumah

Faktor lingkungan, seperti kepadatan hunian, jenis lantai rumah, dan ventilasi, berperan sebagai risiko terhadap munculnya tuberkulosis. Lingkungan fisik rumah mempengaruhi tingkat kesehatan penghuninya. Tempat tinggal yang sehat memiliki tata udara yang baik, pencahayaan yang memadai, suhu dan kelembaban yang sesuai, serta lantai dari bahan yang tidak kedap (Azhar & Perwitasari, 2014).

f. Tinggal bersama penderita

Individu yang tinggal bersama penderita tuberkulosis memiliki risiko lebih tinggi terkena penyakit ini dibandingkan dengan mereka yang tidak pernah tinggal bersama penderita tuberkulosis (Pangaribuan et al., 2020). Penderita tuberkulosis dengan hasil BTA positif dapat menularkan penyakit kepada 10-15 orang lainnya, sehingga kemungkinan kontak tertular tuberkulosis adalah sekitar 17%. Bakteri tuberkulosis menyebar melalui percikan yang dihasilkan penderita saat bersin, batuk, atau meludah. Kuman ini dapat bertahan di udara selama beberapa jam, dan jika terhirup, akan masuk ke saluran pernapasan. Infeksi tuberkulosis terjadi ketika seseorang menghirup udara yang mengandung *Mycobacterium tuberculosis* (Widoyono, 2018).

g. Perilaku

Faktor perilaku seperti kebiasaan meludah sembarangan, tidak membuka jendela kamar tidur setiap hari, tidak menjemur kasur secara rutin, dan berbagi makanan atau minuman dengan penderita tuberkulosis juga berkontribusi terhadap risiko penularan penyakit ini (Azhar & Perwitasari, 2014).

6. Gejala Klinis Tuberkulosis

Menurut Kemenkes RI (2019), gejala penyakit TB bergantung pada lokasi lesi. Manifestasi klinis tuberkulosis paru menunjukkan gejala-gejala klinis sebagai berikut :

- a. Batuk berdahak
- b. Batuk ≥ 2 minggu
- c. Batuk berdahak dapat disertai darah
- d. Nyeri dada
- e. Sesak nafas

Dengan gejala penyerta yakni :

- a. Malaise (perasaan kurang enak badan)
- b. Berat badan menurun
- c. Penurunan nafsu makan
- d. Demam
- e. Menggigil
- f. Berkeringat pada malam hari

7. Mekanisme pembentukan Antibodi pada Infeksi tuberkulosis

Penyebaran bakteri tuberkulosis terjadi melalui transmisi droplet dari percikan saliva yang dihasilkan saat batuk atau bersin oleh orang yang terinfeksi, kemudian dihirup oleh orang yang sehat. Dengan demikian, penularan bakteri tuberkulosis (*Mycobacterium tuberculosis*) terjadi melalui inhalasi ke saluran napas. Sistem kekebalan tubuh pertama yang bekerja adalah kekebalan bawaan (*innate immunity*) di saluran napas, karena bakteri memasuki tubuh melalui saluran pernapasan. Makrofag adalah salah satu jenis sel fagosit yang ada di saluran pernapasan yang berperan dalam menangkap dan mencerna bakteri *Mycobacterium tuberculosis*. Bakteri yang tidak dapat dieliminasi oleh makrofag dapat menyebabkan respon imun yang lebih kuat. Makrofag yang terinfeksi memproses dan menghasilkan fragmen bakteri pada permukaannya dengan bantuan molekul kompleks *histokompatibilitas* kelas II (MHC-II). Sel T CD4+ (sel T *helper*) mengenali antigen yang dihasilkan oleh MHC-II dan menjadi teraktivasi. Sel T CD4+ yang teraktivasi menghasilkan berbagai sitokin, termasuk *interleukin-2* (IL-2) dan *interferon-gamma* (IFN- γ). Sitokin ini berperan penting dalam pengaturan dan aktivasi sel-sel kekebalan lainnya. Sel T CD4+

merangsang proliferasi dan diferensiasi sel B menjadi sel plasma, yang merupakan sel yang memproduksi antibodi. Sel plasma awalnya memproduksi antibodi IgM sebagai respons cepat terhadap infeksi. IgM memiliki bentuk pentamer dan bekerja untuk mengikat dan merusak bakteri secara langsung. Seiring waktu, sel plasma dapat mengalami perubahan isotipe, yaitu beralih dari memproduksi IgM ke IgG. IgG memiliki kemampuan melewati jaringan dan memberikan perlindungan yang lebih efektif dalam jangka panjang. Sel T CD4+ juga dapat berperan dalam merangsang diferensiasi sel B menjadi sel memori B, yang memiliki kapasitas untuk mengingat patogen dan merespons lebih cepat pada infeksi berikutnya (Yong *et al.* 2019).

8. Pemeriksaan Serologis Tuberkulosis

Uji serologis, juga dikenal sebagai tes antibodi, adalah pemeriksaan *in-vitro* yang mengevaluasi reaksi antara antigen dan antibodi secara *in-vitro*. Uji ini adalah salah satu prosedur laboratorium yang dilakukan pada sampel serum darah untuk mendeteksi antibodi atau antigen tertentu yang berkaitan dengan penyakit tertentu. Beberapa jenis uji serologi yang digunakan adalah:

a. *Enzym Linked Immunosorbent Assay* (ELISA)

Teknik ini adalah salah satu metode uji serologi yang dapat mendeteksi respons humoral, yaitu interaksi antara antigen dan antibodi, dengan sensitivitas dan spesifisitas tinggi menggunakan label enzim sebagai penanda reaksi. ELISA memiliki empat jenis teknik yaitu *direct*, *indirect*, *sandwich*, dan *competitive ELISA*. Teknik ini digunakan untuk mendeteksi antigen atau antibodi dengan memanfaatkan *solid phase*. Prinsip kerja ELISA didasarkan pada reaksi antara antigen dan antibodi (Ag-Ab) setelah penambahan konjugat yaitu antigen atau antibodi yang dilabeli enzim, serta substrat, akan terjadi perubahan warna. Intensitas perubahan warna ini kemudian diukur menggunakan alat pembaca seperti spektrofotometer atau ELISA reader pada panjang gelombang tertentu (Buchari, 2019).

b. Uji *Immunochromatography Tuberculosis* (ICT-TB)

Teknik baru untuk mendiagnosis tuberkulosis adalah menggunakan imunokromatografi, sebuah uji serologis yang cepat, sederhana, dan mudah dioperasikan. Prinsip kerja imunokromatografi melibatkan reaksi antigen pada alat yang berikatan dengan antibodi tuberkulosis dari sampel penderita, yang dikongjugasikan dengan partikel halus berwarna, seperti *colloidal gold* (merah), sebagai label. Partikel halus ini (1–20 nm) memiliki daya migrasi yang kuat dan dapat dengan cepat mencapai garis atau antigen pengikat, menghasilkan sinyal warna yang spesifik. Kompleks imun yang terbentuk kemudian mengalir melalui membran (*nitroselulosa*) yang dilapisi oleh penangkap antigen mikroba yang sama (Meita & Lisyani, 2014).

c. Uji Peroksidase Anti Peroksidase (PAP)

Uji ini adalah salah satu jenis tes yang mendeteksi reaksi serologis yang terjadi. Uji serologis *imunoperoksidase* menggunakan 20 alat *histogen imunoperoksidase staining* untuk mengidentifikasi adanya IgG spesifik terhadap bakteri TB (Nusahi, 2018).

d. Uji *Mycodot*

Bertujuan untuk mendeteksi antibodi antimikobakteri dalam tubuh manusia, uji ini menggunakan antigen *lipoarabinomannan* (LAM) yang melekat pada alat berbentuk sisir plastik. Alat tersebut kemudian dicelupkan ke dalam serum pasien. Apabila serum tersebut mengandung antibodi spesifik anti-LAM dalam jumlah yang memadai sesuai dengan tingkat aktivitas penyakit, perubahan warna yang mudah dikenali akan terlihat pada alat tersebut (Nusahi, 2018).

9. Pengobatan Tuberkulosis

Untuk mengatasi dan mengendalikan penyebaran tuberkulosis, langkah yang dapat diambil adalah menghilangkan dan mengurangi faktor risiko yang menyebabkan penularan penyakit tersebut. Pengobatan tuberkulosis merupakan strategi utama dalam pengendalian penyakit ini,

yaitu dengan pemberian Obat Anti Tuberkulosis (OAT) (Tangkin *et al.* 2016). Obat Anti Tuberkulosis (OAT) merupakan elemen utama dalam pengobatan tuberkulosis. OAT adalah komponen penting dalam proses pengobatan tuberkulosis dan terdiri dari berbagai jenis obat yang diberikan kepada pasien. Pengobatan tuberkulosis memerlukan waktu yang cukup lama, sekitar 6 hingga 9 bulan (Fortuna *et al.* 2022).

a. Tahap pengobatan anti tuberkulosis

Pengobatan tuberkulosis dilakukan dalam dua tahap yaitu tahap intensif yang berlangsung selama 2 bulan dan tahap lanjutan yang berlangsung selama 4-6 bulan (Irnawati *et al.* 2016).

1) Fase intensif,

Pada tahap intensif (awal), pasien menerima 3 atau 4 jenis obat setiap hari selama 2 bulan dan harus diawasi secara ketat untuk mencegah resistensi obat. Jika pengobatan pada tahap intensif dilakukan dengan benar, pasien biasanya akan berhenti menularkan penyakit dalam waktu 1-2 bulan. Empat jenis obat yang diberikan bertujuan untuk mengurangi jumlah bakteri tuberkulosis dan memperbaiki kondisi klinis pasien. Pasien yang berpotensi menularkan bakteri infeksi biasanya akan menjadi non-infeksi (tidak menular) dalam waktu 2 minggu (PIONAS, 2022).

2) Fase lanjutan

Pada tahap lanjutan, pasien menerima hanya 2 jenis obat, tetapi dalam jangka waktu yang lebih panjang, biasanya selama 4 bulan. Obat bisa diberikan setiap hari atau secara *intermiten* beberapa kali dalam seminggu. Tahap lanjutan ini penting untuk mencegah kekambuhan, meskipun hanya memerlukan lebih sedikit jenis obat, durasi pengobatan lebih lama. Tujuan dari fase ini adalah untuk menghilangkan sisa-sisa kuman yang masih ada dan mencegah kekambuhan penyakit (PIONAS, 2022).

Pengobatan tuberkulosis yang adekuat harus memenuhi prinsip yaitu (Kemenkes RI, 2019) :

- 1) Pengobatan diberikan dengan kombinasi OAT yang tepat, terdiri dari minimal 4 jenis obat, untuk mencegah terjadinya resistensi.
- 2) Pemberian dengan dosis yang sesuai.
- 3) Konsumsi obat secara teratur dan pengawasan langsung oleh PMO (Pengawas Menelan Obat) hingga pengobatan selesai.
- 4) Pengobatan dibagi dalam 2 tahap yaitu tahap awal dan tahap lanjutan untuk mencegah kekambuhan.

b. Jenis obat Anti Tuberkulosis (OAT)

1) *Isoniazid* (H)

Isoniazid (INH) adalah salah satu obat utama yang digunakan dalam pengobatan tuberkulosis. Obat ini sangat efektif melawan mikobakteria, terutama *Mycobacterium tuberculosis* dan memiliki sifat bakterisidal yang lebih kuat dibandingkan dengan obat anti-tuberkulosis lainnya. Isoniazid diserap dengan baik ketika diminum secara oral, dimetabolisme di hati, dan diekskresikan oleh ginjal dalam bentuk metabolit seperti asam asetilisoniazid dan asam isonikotinat dalam 24 jam pertama. Sebagian kecil obat juga diekskresikan melalui feses dan proses *hemodialisis* (Siregar, 2015).

2) *Rifampicin* (R)

Rifampicin adalah antibiotik semi-sintetik dalam bentuk serbuk kristal berwarna merah yang menghambat aktivitas RNA polimerase. Obat ini bersifat bakterisidal dan memiliki spektrum aktivitas yang luas terhadap berbagai mikroorganisme, terutama *Mycobacterium tuberculosis*. *Rifampicin* diserap dengan baik ketika diminum dan didistribusikan secara luas ke jaringan serta cairan tubuh. Obat ini dimetabolisme di hati dan dikeluarkan melalui empedu dan urine. *Rifampicin* bekerja dengan

menghambat aktivitas RNA *polimerase* yang bergantung pada DNA bakteri, sehingga menekan sintesis RNA dan menyebabkan kematian sel bakteri (Mahaswari *et al.* 2022).

3) *Pyrazinamide* (Z)

Pyrazinamide adalah obat anti-tuberkulosis utama yang bersifat *bakteriostatik* dan dapat juga bersifat *bakterisidal*. Obat ini diberikan secara oral, diserap dengan baik oleh sistem pencernaan, dan menyebar ke seluruh jaringan tubuh. Penggunaan dosis tinggi dapat menyebabkan kelainan hati (*hepatotoksisitas*) yang ditandai dengan gangguan fungsi hati, seperti peningkatan kadar Serum *Glutamic Oxaloacetic Transaminase* (SGOT) dan *Serum Glutamic Pyruvic Transaminase* (SGPT) (Umawiranda dan Cahyaningrum, 2014). Sifat *bakterisidal pyrazinamide* hanya efektif terhadap bakteri intraseluler yang aktif membelah serta *Mycobacterium tuberculosis* (PIONAS, 2022).

4) *Streptomycin* (S)

Streptomycin kini jarang digunakan, kecuali dalam kasus resistensi. Obat ini bersifat *bakterisidal*, membunuh bakteri yang aktif membelah, dan diberikan melalui injeksi *intramuskular*. *Streptomycin* bekerja dengan menghambat sintesis protein bakteri melalui pengikatan pada RNA ribosom (Fellesya *et al.* 2022).

5) *Ethambutol* (E)

Ethambutol adalah derivat etilendiamin yang termasuk dalam obat lini pertama untuk pengobatan tuberkulosis dan bekerja secara khusus terhadap *Mycobacterium tuberculosis*, tanpa mempengaruhi mikroorganisme lain. *Ethambutol* bersifat *bakteriostatik* dan menghambat sintesis mikolat pada dinding sel *Mycobacterium tuberculosis*. Obat ini direkomendasikan untuk semua jenis penyakit tuberkulosis yang disebabkan oleh bakteri yang sensitif, baik untuk pencegahan maupun pengobatan. *Ethambutol* bekerja sebagai anti-tuberkulosis dengan cara

menghambat enzim arabinosil transferase, yang berperan dalam biosintesis asam mikolat pada dinding sel *Mycobacterium tuberculosis* (Utary *et al.* 2020).

B. Tinjauan Umum Antibodi

1. Definisi Antibodi

Antibodi adalah molekul protein yang disekresikan oleh sel plasma sebagai respons imun humoral terhadap imunogen. Antibodi merupakan bagian dari sistem imun adaptif dan diproduksi oleh sel plasma yang berasal dari diferensiasi limfosit B. Tidak semua infeksi patogen atau imunogen akan memicu produksi antibodi (Luthfianto *et al.* 2023).

2. Jenis-jenis Antibodi

a. *Immunoglobulin M (IgM)*

IgM ditemukan dalam darah, getah bening, dan pada permukaan sel-sel B. Ketika antigen memasuki tubuh, *Immunoglobulin M (IgM)* adalah antibodi pertama yang diproduksi untuk melawan antigen tersebut (Hasdianah *et al.* 2014).

IgM adalah jenis *immunoglobulin* yang paling efisien dalam proses aglutinasi, fiksasi komplemen, dan reaksi antigen-antibodi lainnya, serta memainkan peran penting dalam pertahanan melawan bakteri dan virus. *Immunoglobulin* ini dapat diproduksi oleh janin yang terinfeksi. Molekul IgM terikat oleh rantai J, dan sebagian besar sel B memiliki IgM di permukaannya sebagai reseptor antigen. IgM adalah antibodi yang pertama kali terbentuk dalam respon imun primer terhadap sebagian besar antigen. Sebagian besar antibodi alami, seperti isoaglutinin, golongan darah AB, dan antibodi heterofil, adalah IgM. IgM dapat menghambat pergerakan mikroorganisme patogen, mempermudah fagositosis, dan bertindak sebagai aglutinator patogen (Garma, 2014).

b. *Immunoglobulin G (IgG)*

IgG adalah komponen utama dari imunoglobulin serum, menyusun sekitar 75% dari total imunoglobulin serum. Dengan berat molekul

160.000 dalton dan konsentrasi sekitar 13 mg/ml dalam serum, IgG adalah imunoglobulin yang paling banyak ditemukan dalam plasma dan cairan ekstraseluler. IgG memiliki peran penting dalam pertahanan tubuh terhadap bakteri dan virus, serta menetralkan racun antigen. Selain itu, IgG memiliki kemampuan khusus untuk menembus dan menyebar antara sel-sel, menghilangkan bakteri yang masuk ke dalam sel dan jaringan. IgG juga dapat melintasi plasenta pada ibu hamil untuk melindungi janin dari infeksi. Kemampuan ini dimiliki IgG karena ukuran molekulnya yang kecil. IgG mulai terbentuk 2-3 bulan setelah infeksi, kadarnya meningkat dalam waktu satu bulan, menurun secara bertahap, dan tetap ada dalam kadar rendah selama bertahun-tahun. IgG beredar dalam tubuh, banyak terdapat dalam darah, sistem limfatik, dan usus, serta akan menuju lokasi antigen dan menghambatnya begitu terdeteksi (Daulay, 2021).

Ada empat subkelas IgG yang dikenal, yaitu IgG1, IgG2, IgG3, dan IgG4. Perbedaan antara subkelas ini terletak pada rantai berat (H) yang masing-masing dikenal sebagai 1, 2, 3, dan 4. Perbedaan ini berkaitan dengan berbagai fungsi biologis yang dimiliki oleh setiap subkelas (Pandjita, 2017).

c. *Immunoglobulin A (IgA)*

Immunoglobulin A (IgA) terdapat di berbagai bagian tubuh yang dilapisi oleh selaput lendir, seperti hidung, mata, paru-paru, dan usus. IgA juga hadir dalam darah dan cairan tubuh lainnya, termasuk air mata, air liur, ASI, getah lambung, dan sekresi usus. Antibodi ini berperan dalam melindungi janin selama kehamilan dari berbagai penyakit. IgA dalam ASI berfungsi melindungi sistem pencernaan bayi dari mikroba, karena bayi yang baru lahir belum memiliki IgA dalam tubuhnya (Aripin, 2019).

d. *Immunoglobulin D (IgD)*

Immunoglobulin D (IgD) terdapat dalam darah, getah bening, dan pada permukaan sel-sel B, meskipun jumlahnya sangat sedikit. IgD

berfungsi dengan menempel pada permukaan sel-sel T, membantu sel-sel T dalam menangkap antigen (Aripin, 2019).

e. *Immunoglobulin E (IgE)*

Immunoglobulin E (IgE) adalah antibodi yang beredar dalam aliran darah (Aripin, 2019). IgE adalah jenis antibodi yang terdapat dalam serum dengan kadar rendah, sering dijumpai pada penyakit alergi dan atopi, serta dikenal juga sebagai antibodi reagenik. IgE adalah imunoglobulin yang jumlahnya paling sedikit dalam serum normal (sekitar 0,004%), tetapi dapat meningkat drastis selama reaksi alergi. Kadar IgE normal dalam darah umumnya kurang dari 75 ng/ml (Azura, 2020).

3. Pemeriksaan Antibodi Pada Pasien Tuberkulosis

Deteksi antibodi terhadap basil tuberkulosis kini tersedia secara luas, dengan salah satu metode yang sering digunakan adalah imunokromatografi. Metode ini menggunakan partikel halus berwarna, seperti emas koloid (*colloidal gold*), yang tidak memerlukan substrat dan kromogen. Karena partikel ini sangat kecil (1-20 nm), migrasinya sangat efisien, dan dalam waktu singkat dapat mencapai garis antigen dan menghasilkan sinyal warna. Proses pemeriksaan ini sangat cepat, sekitar 15 menit. Berbagai antigen dapat digunakan dalam metode imunokromatografi tuberkulosis, tergantung pada jenis reagen komersial, termasuk antigen khas 38 kDa dan empat antigen lain dari membran sitoplasma *Mycobacterium tuberculosis*. Kelima antigen ini ditempatkan dalam bentuk empat garis di kertas asetat selulosa di area bacaan. Garis kelima adalah garis kendali yang mengandung *goat anti-rabbit IgG*, berfungsi untuk memastikan reagen dan sistem aliran berfungsi dengan baik. Jika sampel penderita mengandung antibodi terhadap TB, akan muncul garis berwarna merah atau ungu di area tes. Sisa kompleks yang tidak terikat antibodi TB akan bergerak menuju area kontrol, menghasilkan garis berwarna merah muda atau ungu sebagai tanda bahwa reaksi berlangsung dengan baik (Mulyatari *et al.* 2018).

Menurut Buchari (2019) kelebihan dari pemeriksaan tuberkulosis metode imunokromatografi adalah waktu pemeriksaan sangat singkat (15 menit), stabil dalam jangka lama, mudah digunakan dan relatif tidak mahal. Kekurangan dari metode ini yaitu sensitivitas lebih rendah dibanding ELISA serta tidak ada nilai kuantitatif.