

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Tuberkulosis

1. Definisi tuberkulosis

Tuberkulosis (TB) merupakan penyakit infeksi yang disebabkan oleh bakteri *Mycobacterium tuberculosis* yang terutama menyerang paru-paru, namun dapat pula menyerang organ tubuh lainnya seperti kelenjar getah bening, tulang, ginjal, dan sistem saraf pusat. Penularan penyakit ini terjadi melalui udara ketika penderita TB paru aktif mengeluarkan droplet yang mengandung bakteri saat batuk, bersin, atau berbicara (Kemenkes RI, 2020).

Droplet yang mengandung *Mycobacterium tuberculosis* dapat bertahan di udara dalam bentuk droplet nuclei berukuran sangat kecil sehingga mudah terhirup oleh individu lain yang berada di sekitar penderita. Bakteri yang terhirup akan masuk ke saluran pernapasan dan mencapai alveoli paru sehingga dapat memicu terjadinya infeksi tuberkulosis (Masriadi, 2024).

Tuberkulosis paru merupakan bentuk TB yang paling sering ditemukan dan menjadi sumber utama penularan di masyarakat. Pasien dengan TB paru aktif yang memiliki bakteri dalam sputum berpotensi besar menularkan penyakit kepada individu lain, terutama pada lingkungan rumah tangga dengan intensitas kontak yang tinggi (Kemenkes RI, 2020).

2. Epidemiologi tuberkulosis

Tuberkulosis masih menjadi salah satu masalah kesehatan masyarakat utama di dunia. World Health Organization melaporkan bahwa TB tetap menjadi

penyebab kematian utama akibat penyakit infeksi di banyak negara. Pada tahun 2023 diperkirakan terdapat lebih dari 10 juta kasus TB baru di seluruh dunia (World Health Organization, 2025).

Indonesia termasuk negara dengan beban tuberkulosis tinggi di dunia. Berdasarkan pedoman nasional penanggulangan tuberkulosis, sebagian besar kasus TB yang ditemukan di Indonesia merupakan TB paru yang berpotensi menularkan penyakit kepada individu lain di lingkungan sekitar (Kemenkes RI, 2020).

Penularan TB banyak terjadi di lingkungan rumah tangga. Kontak serumah dengan pasien TB paru aktif memiliki risiko lebih tinggi untuk terinfeksi karena adanya paparan yang berlangsung dalam waktu lama serta interaksi yang intens antara pasien dan anggota keluarga (Nurhayati, 2025).

B. Mekanisme Penularan Tuberkulosis

Tuberkulosis (TB) merupakan penyakit infeksi yang penularannya terjadi melalui udara (airborne transmission). Agen penyebabnya, *Mycobacterium tuberculosis*, ditularkan ketika penderita TB paru aktif mengeluarkan percikan dahak (droplet nuclei) saat batuk, bersin, berbicara, atau bernyanyi. Droplet tersebut mengandung partikel sangat kecil ($\pm 1-5$ mikron) yang dapat bertahan di udara dalam waktu tertentu dan terhirup oleh individu (Kemenkes RI, 2020).

1. Proses pembentukan droplet nuklei

Ketika pasien TB paru dengan hasil pemeriksaan sputum positif batuk, tekanan udara dari paru-paru mendorong keluar partikel aerosol yang mengandung basil tuberkulosis. Droplet yang lebih besar akan jatuh ke permukaan, sedangkan droplet

nuklei yang berukuran kecil dapat tetap melayang di udara dan berpotensi terhirup oleh orang lain (Masriadi, 2024)

Keberadaan droplet nuklei inilah yang menjadi dasar penularan TB dalam ruang tertutup, terutama pada rumah dengan ventilasi yang kurang memadai dan kepadatan hunian tinggi (Sofiyani dan Wijayanti, 2022).

2. Proses inhalasi dan infeksi primer

Individu yang menghirup droplet nuklei yang mengandung *Mycobacterium tuberculosis* memungkinkan bakteri mencapai alveoli paru. Di dalam alveoli, bakteri akan difagositosis oleh makrofag. Namun, bakteri ini memiliki kemampuan bertahan hidup di dalam makrofag dengan menghambat proses penghancuran intraseluler, sehingga memungkinkan terjadinya infeksi primer (Kemenkes RI, 2020).

Pada tahap ini, sistem imun seluler akan diaktifkan. Sebagian individu mampu mengendalikan infeksi sehingga bakteri berada dalam keadaan dorman (infeksi TB laten), sementara pada individu dengan imunitas rendah, infeksi dapat berkembang menjadi TB aktif (Masriadi, 2024).

3. Faktor yang mempengaruhi penularan

Penularan TB tidak hanya dipengaruhi oleh keberadaan bakteri, tetapi juga oleh beberapa faktor berikut:

a. Tingkat infektivitas pasien (*bacterial load*)

Pasien dengan hasil BTA positif memiliki potensi penularan lebih tinggi dibandingkan pasien BTA negatif, karena jumlah bakteri yang dikeluarkan lebih banyak (Kemenkes RI, 2020).

b. Durasi dan intensitas kontak

Kontak erat dan berkepanjangan, terutama pada kontak serumah, meningkatkan risiko inhalasi droplet yang mengandung bakteri (Nurhayati, 2025).

c. Kondisi lingkungan

Ventilasi yang buruk, kurangnya pencahayaan matahari, serta kepadatan hunian meningkatkan konsentrasi droplet di udara dan memperbesar risiko transmisi (Sofiyani dan Wijayanti, 2022).

d. Status Imun penjamu

Individu dengan daya tahan tubuh rendah, seperti penderita HIV, malnutrisi, atau penyakit kronis lainnya, memiliki risiko lebih tinggi mengalami progresi infeksi menjadi TB aktif (Kemenkes RI, 2020).

4. Penularan dalam konteks kontak serumah

Lingkungan rumah tangga menjadi tempat utama terjadinya transmisi TB. Interaksi yang intens, penggunaan ruang bersama, serta ventilasi yang tidak memadai menyebabkan paparan berulang terhadap droplet yang mengandung *Mycobacterium tuberculosis* (Nurhayati, 2025). Oleh karena itu, investigasi kontak serumah dan skrining infeksi laten menjadi strategi penting dalam pengendalian TB (Solihah, 2025).

C. *Mycobacterium Tuberculosis* dan Bacterial Load

1. Definisi *Mycobacterium tuberculosis*

Mycobacterium tuberculosis merupakan bakteri berbentuk batang (basil), bersifat aerob obligat, dan termasuk dalam kelompok basil tahan asam (BTA). Sifat tahan asam ini disebabkan oleh struktur dinding sel yang kaya lipid kompleks, terutama asam mikolat, sehingga bakteri memerlukan teknik pewarnaan khusus

seperti Ziehl–Neelsen untuk identifikasi mikroskopis. Struktur dinding sel tersebut juga meningkatkan ketahanan bakteri terhadap lingkungan serta terhadap mekanisme pertahanan tubuh inang (Kemenkes RI, 2020).

Bakteri ini mampu bertahan hidup dan bereplikasi di dalam makrofag alveolar dengan menghambat proses fusi fagosom dan lisosom, sehingga dapat menghindari penghancuran intraseluler. Kondisi ini memungkinkan terjadinya infeksi persisten dan memicu respons imun seluler jangka panjang. Penularan terjadi melalui inhalasi droplet nuklei yang mengandung bakteri yang kemudian mencapai alveoli paru dan memicu respons imun awal (Masriadi, 2024).

Kemampuan *Mtb* bereplikasi di jaringan paru mempengaruhi tingkat infektivitas pasien TB paru. Replikasi bakteri yang tinggi meningkatkan jumlah bakteri dalam sputum penderita, sehingga meningkatkan *bacterial load Mtb* yang dilepaskan ke lingkungan saat pasien batuk, bersin, atau berbicara. Oleh karena itu, karakteristik biologis bakteri ini menjadi dasar penting dalam memahami peran *bacterial load Mtb* sebagai indikator potensi penularan TB, terutama pada kontak serumah (Kemenkes RI, 2020; Masriadi, 2024).

2. Pemeriksaan Tes Cepat Molekuler (*xpert mtb/rif ultra*)

Pemeriksaan Tes Cepat Molekuler (TCM) bertujuan untuk mendeteksi keberadaan *Mtb* melalui identifikasi materi genetik bakteri serta mendeteksi resistansi terhadap rifampisin secara cepat. Selain digunakan untuk membantu penegakan diagnosis tuberkulosis, hasil pemeriksaan TCM juga memberikan informasi mengenai tingkat *bacterial load Mtb* yang menggambarkan tingkat beban kuman (*bacterial load*) *Mtb* yang terdeteksi pada specimen dahak pasien TB.

Informasi tersebut dapat digunakan untuk menggambarkan tingkat pajanan yang diterima oleh kontak serumah (Tuberculosis Indonesia, 2023).

Pemeriksaan TCM menggunakan *GeneXpert* dengan kartrid *Xpert MTB/RIF Ultra* merupakan metode diagnostik molekuler berbasis *Real-Time Polymerase Chain Reaction* (PCR) yang digunakan untuk mendeteksi keberadaan DNA *Mtb* kompleks serta menentukan resistansi terhadap rifampisin secara simultan dan cepat (Tuberculosis Indonesia, 2023).

Metode ini menargetkan beberapa sekuens genetik spesifik *Mtb*, yaitu gen *rpoB* yang berhubungan langsung dengan resistansi rifampisin, serta sekuens IS1081 dan IS6110 yang berfungsi sebagai penanda keberadaan *Mtb* kompleks. Amplifikasi DNA dilakukan di dalam kartrid sekali pakai yang bersifat tertutup, sehingga risiko kontaminasi silang dapat diminimalkan (Tuberculosis Indonesia, 2023).

Sistem *GeneXpert* melakukan tahapan inaktivasi bakteri, ekstraksi asam nukleat, amplifikasi DNA, serta deteksi target PCR secara terintegrasi. Setiap kartrid dilengkapi dengan Sample Processing Control (SPC) untuk memastikan proses ekstraksi dan amplifikasi berjalan baik serta Probe Check Control (PCC) untuk memverifikasi integritas reagen dan stabilitas sinyal selama pemeriksaan (Tuberculosis Indonesia, 2023).

Interpretasi hasil pemeriksaan *Xpert MTB/RIF Ultra* meliputi *Mtb* terdeteksi, resistansi rifampisin terdeteksi atau tidak terdeteksi, resistansi rifampisin indeterminate, *Mtb* tidak terdeteksi, serta kategori trace yang menunjukkan jumlah DNA *Mtb* sangat rendah dalam spesimen (Tuberculosis Indonesia, 2023).

3. Kategori *bacterial load*

Bacterial load Mtb pada tuberkulosis menggambarkan jumlah atau konsentrasi *Mtb* dalam spesimen klinis, terutama sputum, yang mencerminkan tingkat infektivitas pasien dan potensi penularan penyakit (Kemenkes RI, 2020). Semakin tinggi jumlah bakteri di jaringan paru, semakin besar kemungkinan basil dikeluarkan melalui droplet saat batuk sehingga meningkatkan risiko transmisi pada individu di sekitarnya (Anggraini dan Hutabarat, 2024).

Menurut pedoman nasional, hasil pemeriksaan TCM diklasifikasikan menjadi beberapa kategori *bacterial load Mtb* sebagai berikut (Kemenkes RI, 2020):

a. *Trace*

Menunjukkan jumlah DNA *Mtb* sangat sedikit dan sering ditemukan pada pasien dengan sisa DNA bakteri setelah pengobatan.

b. *Very Low*

Menunjukkan jumlah bakteri sangat rendah yang biasanya ditemukan pada tahap awal infeksi atau beban bakteri minimal.

c. *Low*

Menggambarkan konsentrasi bakteri rendah dengan kemungkinan penularan yang masih dapat terjadi terutama pada kondisi lingkungan yang mendukung transmisi.

d. *Medium*

Menunjukkan jumlah bakteri yang cukup signifikan sehingga tingkat infektivitas pasien lebih tinggi dibanding kategori sebelumnya.

e. *High*

Menunjukkan jumlah bakteri yang tinggi dalam spesimen dan berpotensi besar menjadi sumber penularan aktif, terutama pada kontak serumah (Anggraini dan Hutabarat, 2024).

4. Prosedur pemeriksaan Tes Cepat Molekuler (TCM)

Pemeriksaan Tes Cepat Molekuler (TCM) menggunakan instrumen GeneXpert dengan kartrid Xpert MTB/RIF Ultra merupakan metode diagnostik molekuler yang digunakan untuk mendeteksi keberadaan *Mtb* serta mendeteksi resistansi terhadap rifampisin. Pemeriksaan TCM pada penelitian ini dilakukan pada pasien TB paru sebagai sumber data *bacterial load Mtb*. Pemeriksaan dilakukan menggunakan spesimen sputum pasien suspek TB sesuai dengan pedoman pemeriksaan tuberkulosis yang berlaku (Tuberculosis Indonesia, 2023).

Prosedur pemeriksaan diawali dengan penerimaan dan verifikasi identitas pasien serta kesesuaian spesimen yang akan diperiksa. Spesimen sputum selanjutnya dicampurkan dengan buffer dengan perbandingan 1 : 2, untuk membantu proses inaktivasi bakteri dan pelepasan materi genetik bakteri. Campuran kemudian dihomogenkan dan diinkubasi sesuai waktu yang ditentukan.

Setelah proses homogenisasi selesai, campuran spesimen dimasukkan ke dalam kartrid Xpert MTB/RIF Ultra menggunakan pipet yang tersedia. Kartrid yang telah terisi kemudian dipasang ke dalam instrumen GeneXpert untuk dilakukan proses pemeriksaan secara otomatis.

Instrumen GeneXpert akan menjalankan tahapan pemeriksaan secara terintegrasi yang meliputi ekstraksi asam nukleat, amplifikasi DNA menggunakan metode *Real-Time Polymerase Chain Reaction* (PCR), serta deteksi target gen *Mtb*.

Sistem juga dilengkapi dengan *Sample Processing Control* (SPC) untuk memastikan proses ekstraksi dan amplifikasi berjalan dengan baik serta *Probe Check Control* (PCC) untuk memverifikasi integritas reagen dan kestabilan sistem selama pemeriksaan.

Hasil pemeriksaan ditampilkan secara otomatis oleh sistem dalam bentuk deteksi *Mtb*, status resistansi terhadap rifampisin, serta kategori *bacterial load Mtb* yang terdiri atas *trace*, *very low*, *low*, *medium*, dan *high*. Kategori tersebut digunakan untuk menggambarkan tingkat beban kuman yang terdeteksi pada spesimen pasien dan digunakan dalam penentuan tingkat infektivitas pasien TB paru (Tuberculosis Indonesia, 2023).

Dalam penelitian ini, data hasil pemeriksaan TCM yang digunakan merupakan data sekunder yang berasal dari hasil pemeriksaan pelayanan rutin program tuberkulosis tahun 2025 di UPTD Puskesmas I Dinas Kesehatan Kecamatan Denpasar Utara. Data hasil pemeriksaan tersebut digunakan untuk menentukan kategori *bacterial load Mtb* pada pasien TB paru.

D. Kontak Serumah

Kontak serumah merupakan individu yang tinggal dalam satu rumah dengan pasien tuberkulosis dan memiliki paparan udara yang sama dalam aktivitas sehari-hari. Individu yang tinggal bersama pasien TB memiliki risiko lebih tinggi untuk terpapar *Mtb* dibandingkan populasi umum karena intensitas kontak yang lebih sering dan berlangsung dalam waktu lama. Kondisi ini meningkatkan kemungkinan terjadinya infeksi tuberkulosis pada anggota keluarga yang tinggal bersama pasien TB paru (Kemenkes RI, 2020).

Menurut pedoman nasional penanggulangan tuberkulosis, kontak serumah adalah orang yang tinggal dalam satu rumah dengan pasien tuberkulosis, baik sebelum maupun selama pasien menjalani pengobatan. Individu tersebut memiliki kemungkinan terpapar kuman tuberkulosis melalui percikan dahak (droplet) yang keluar saat pasien batuk, bersin, atau berbicara sehingga berisiko mengalami infeksi tuberkulosis (Kemenkes RI, 2020).

Penularan tuberkulosis terjadi melalui udara ketika penderita TB paru aktif mengeluarkan droplet yang mengandung *Mtb*. Droplet tersebut dapat bertahan di udara dan terhirup oleh orang yang berada di sekitarnya. Oleh karena itu, anggota keluarga yang tinggal dalam satu rumah dengan pasien TB termasuk kelompok yang memiliki risiko tinggi tertular penyakit ini dibandingkan masyarakat umum (World Health Organization, 2021).

Dalam program penanggulangan tuberkulosis nasional, kontak serumah menjadi sasaran utama dalam kegiatan investigasi kontak. Kegiatan ini bertujuan untuk menemukan kemungkinan kasus TB baru serta mengidentifikasi individu yang telah terinfeksi tetapi belum menunjukkan gejala penyakit. Melalui investigasi kontak, petugas kesehatan dapat melakukan pemeriksaan lanjutan seperti TST atau pemeriksaan lainnya untuk mendeteksi infeksi tuberkulosis secara dini (Kemenkes RI, 2020).

Risiko penularan tuberkulosis pada kontak serumah dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain tingkat infeksiusitas pasien, lama dan intensitas kontak dengan pasien TB, kondisi ventilasi rumah, kepadatan hunian, serta status kekebalan tubuh individu yang terpapar. Pasien dengan jumlah kuman yang tinggi dalam dahak

memiliki potensi penularan yang lebih besar dibandingkan pasien dengan jumlah kuman yang lebih rendah (World Health Organization, 2021).

Investigasi kontak merupakan salah satu strategi penting dalam pengendalian tuberkulosis karena memungkinkan deteksi dini infeksi pada kelompok berisiko tinggi. Dengan deteksi dini, tindakan pencegahan dan pengobatan dapat dilakukan lebih cepat sehingga dapat menurunkan risiko penularan tuberkulosis di lingkungan keluarga maupun masyarakat (Kemenkes RI, 2020).

E. Infeksi TB Laten

Infeksi TB laten adalah keadaan ketika seseorang terinfeksi *Mycobacterium tuberculosis*, tetapi tidak menunjukkan gejala klinis, tidak ditemukan tanda penyakit aktif secara radiologis maupun bakteriologis, serta tidak menularkan penyakit kepada orang lain. Kondisi ini menunjukkan adanya respons imun yang efektif dalam menekan aktivitas bakteri, sehingga infeksi tetap berada pada fase laten (Kemenkes RI, 2020).

Pada infeksi TB laten, bakteri berada dalam keadaan dorman di dalam tubuh dan dikendalikan oleh sistem imun seluler, khususnya respons limfosit T. Meskipun demikian, bakteri tetap hidup dan dapat bertahan dalam jangka waktu lama. Penurunan daya tahan tubuh, seperti pada penderita HIV, diabetes melitus, malnutrisi, penggunaan obat immunosupresif, atau proses penuaan, dapat mengganggu keseimbangan ini dan meningkatkan risiko reaktivasi menjadi TB aktif. Reaktivasi ini berkontribusi besar terhadap munculnya kasus TB baru di masyarakat (Kemenkes RI, 2020).

Skrining infeksi TB laten merupakan upaya penting dalam pengendalian TB, terutama pada kelompok berisiko tinggi. Pemeriksaan dilakukan menggunakan

Tuberculin Skin Test (TST) atau *Interferon Gamma Release Assay* (IGRA) untuk mendeteksi respons imun terhadap antigen *Mycobacterium tuberculosis*. Skrining ini diprioritaskan pada kelompok kontak serumah pasien TB aktif, anak-anak, serta individu dengan kondisi immunosupresi, sebagai dasar penentuan pemberian terapi pencegahan TB guna mencegah progresi menjadi TB aktif (Kemenkes RI, 2020).

F. Tuberculin Skin Test (TST)

1. Definisi *tuberculin skin test* (TST)

Tuberculin Skin Test (TST), atau dikenal sebagai uji Mantoux, merupakan metode diagnostik untuk mendeteksi infeksi *Mycobacterium tuberculosis* berdasarkan respons imun seluler terhadap antigen tuberculin yang disuntikkan secara intradermal pada lapisan (Kemenkes RI, 2020). Antigen yang digunakan adalah *purified protein derivative* (PPD) yang akan memicu reaksi hipersensitivitas tipe lambat pada individu yang pernah terpapar kuman TB.

Reaksi TST dinilai dengan mengukur diameter indurasi, bukan kemerahan, dalam waktu 48 hingga 72 jam setelah penyuntikan. Hasil pengukuran mencerminkan adanya sensitisasi limfosit T terhadap antigen TB sebagai indikator infeksi laten. TST tidak dapat membedakan antara infeksi TB laten dan TB aktif, sehingga interpretasi hasil harus dikaitkan dengan kondisi klinis, riwayat paparan, serta pemeriksaan penunjang lainnya (Kemenkes RI, 2020).

TST terutama digunakan untuk mengidentifikasi infeksi TB laten pada individu yang tidak menunjukkan gejala klinis TB aktif, khususnya pada kelompok berisiko tinggi seperti kontak serumah pasien TB paru, anak-anak, serta individu dengan gangguan sistem imun. Pemeriksaan ini berperan penting sebagai dasar

penentuan pemberian terapi pencegahan TB guna menurunkan risiko progresi infeksi laten menjadi TB aktif di kemudian hari (Kemenkes RI, 2020).

2. Tujuan Pemeriksaan Tuberculin Skin Test (TST)

Pemeriksaan Tuberculin Skin Test (TST) bertujuan untuk mendeteksi adanya respons imun terhadap paparan antigen *Mtb* melalui reaksi hipersensitivitas tipe lambat setelah penyuntikan tuberkulin secara intradermal. Pemeriksaan ini digunakan sebagai metode skrining untuk membantu mengidentifikasi kemungkinan infeksi tuberkulosis, terutama infeksi tuberkulosis laten pada individu yang memiliki risiko tinggi terpapar TB (Kemenkes RI, 2020).

Pada penelitian ini, pemeriksaan TST dilakukan pada kontak serumah pasien TB paru sebagai kelompok yang dievaluasi reaktivitas imun terhadap paparan *Mtb*. Pemeriksaan ini digunakan untuk menggambarkan kemungkinan terjadinya infeksi TB laten pada kontak erat yang tinggal dalam lingkungan yang sama dengan pasien sumber.

Pada kelompok kontak serumah pasien TB paru, pemeriksaan TST berperan dalam menilai adanya sensitisasi imun akibat pajanan terhadap *Mtb*. Hasil pemeriksaan TST dapat digunakan sebagai dasar untuk menentukan perlunya evaluasi lebih lanjut dan pertimbangan pemberian terapi pencegahan tuberkulosis sesuai pedoman yang berlaku (Kemenkes RI, 2020).

3. Prinsip imunologis *tuberculin skin test* (TST)

TST bekerja berdasarkan mekanisme hipersensitivitas tipe lambat atau *delayed-type hypersensitivity* yang dimediasi oleh sel T. Ketika antigen tuberculin berupa *purified protein derivative* (PPD) disuntikkan secara intradermal, sel T yang telah tersensitisasi akibat paparan *Mycobacterium tuberculosis* akan bermigrasi ke

lokasi suntikan dan melepaskan sitokin proinflamasi. Proses ini memicu akumulasi sel imun dan peningkatan permeabilitas vaskular yang tampak sebagai indurasi pada lokasi suntikan dalam waktu 48 hingga 72 jam (Anggraini dan Hutabarat, 2024).

Besar kecilnya indurasi mencerminkan intensitas respons imun seluler terhadap antigen TB. Respons ini tidak dipengaruhi oleh tingkat aktivitas bakteri, tetapi menunjukkan adanya memori imun akibat infeksi sebelumnya. Oleh karena itu, TST tidak dapat membedakan antara infeksi TB laten dan TB aktif, serta dapat dipengaruhi oleh faktor lain seperti status imun individu dan riwayat vaksinasi BCG (Kemenkes RI, 2020).

Respons hipersensitivitas tipe lambat yang terdeteksi melalui TST menjadi dasar utama interpretasi hasil pemeriksaan. Hasil positif menunjukkan adanya sensitisasi imun terhadap antigen TB, sehingga TST digunakan sebagai alat skrining untuk mengidentifikasi individu dengan kemungkinan infeksi TB laten yang memerlukan evaluasi dan tindak lanjut lebih lanjut sesuai pedoman nasional (Kemenkes RI, 2020).

4. Prosedur pelaksanaan TST

Menurut pedoman nasional, prosedur *Tuberculin Skin Test* (TST) dilakukan secara standar untuk memastikan hasil yang akurat dan dapat diinterpretasikan dengan benar (Kemenkes RI, 2020). Pemeriksaan diawali dengan penyuntikan 0,1 ml purified protein derivative (PPD) secara intradermal pada lengan bawah bagian volar menggunakan spuit tuberculin. Penyuntikan yang benar akan membentuk gelembung kecil pada kulit sebagai tanda bahwa antigen masuk ke lapisan intradermal.

Pembacaan hasil TST dilakukan setelah 48 hingga 72 jam pasca penyuntikan. Waktu ini diperlukan agar respons hipersensitivitas tipe lambat berkembang secara optimal. Pembacaan yang dilakukan terlalu cepat atau terlambat dapat menyebabkan hasil yang tidak akurat dan berisiko menimbulkan salah interpretasi (Kemenkes RI, 2020).

Pengukuran hasil TST dilakukan dengan menilai diameter indurasi, bukan eritema, menggunakan penggaris transparan atau alat ukur yang sesuai, dan dicatat dalam satuan milimeter. Indurasi dinilai dengan perabaan ringan untuk menentukan batas yang jelas. Hasil pengukuran kemudian digunakan sebagai dasar interpretasi sesuai kriteria kelompok risiko yang berlaku dalam pedoman nasional (Kemenkes RI, 2020).

Pelaksanaan prosedur TST yang tepat, mulai dari teknik penyuntikan hingga pembacaan hasil, sangat penting untuk menghindari kesalahan interpretasi. Kesalahan teknis dapat menyebabkan hasil negatif palsu atau positif palsu, yang berdampak pada penentuan diagnosis dan keputusan pemberian terapi pencegahan TB (Kemenkes RI, 2020).

5. Interpretasi hasil TST

Interpretasi hasil *Tuberculin Skin Test* (TST) bergantung pada ukuran indurasi yang terbentuk serta faktor risiko individu yang diperiksa (Kemenkes RI, 2020). Penilaian ini harus dilakukan secara hati-hati karena hasil TST dipengaruhi oleh status imun, riwayat paparan TB, dan karakteristik populasi yang diperiksa.

Hasil TST dinyatakan negatif apabila tidak terdapat indurasi atau ukuran indurasi lebih kecil dari ambang batas yang ditetapkan. Hasil negatif dapat menunjukkan tidak adanya infeksi TB, namun juga dapat terjadi pada individu

dengan gangguan sistem imun, paparan yang masih sangat dini, atau kesalahan teknis dalam pelaksanaan pemeriksaan (Kemenkes RI, 2020).

Hasil TST dinyatakan positif apabila terdapat indurasi dengan ukuran sama dengan atau lebih besar dari ambang batas yang ditentukan, misalnya ≥ 10 mm pada populasi umum. Pada kelompok risiko tinggi, seperti kontak erat pasien TB atau individu dengan kondisi immunosupresi, ambang batas dapat lebih rendah sesuai pedoman nasional. Hasil positif menunjukkan adanya sensitisasi imun terhadap antigen *Mtb* dan mengindikasikan kemungkinan infeksi TB laten (Kemenkes RI, 2020).

Meskipun demikian, hasil TST positif tidak dapat membedakan antara infeksi TB laten dan TB aktif, serta tidak mampu menentukan apakah infeksi tersebut merupakan infeksi lama atau infeksi baru. Oleh karena itu, individu dengan hasil TST positif memerlukan evaluasi klinis dan pemeriksaan lanjutan untuk menyingkirkan TB aktif sebelum ditetapkan sebagai infeksi TB laten dan dipertimbangkan untuk terapi pencegahan TB (Kemenkes RI, 2020).

6. Faktor yang mempengaruhi reaktivitas TST

Beberapa faktor dapat memengaruhi hasil *Tuberculin Skin Test* (TST) sehingga interpretasi hasil perlu mempertimbangkan kondisi individu yang diperiksa. Faktor-faktor ini berperan penting dalam mencegah kesalahan diagnosis, baik negatif palsu maupun positif palsu.

Status imun merupakan faktor utama yang memengaruhi hasil TST. Individu dengan gangguan sistem imun, seperti penderita HIV, pasien dengan penyakit kronis tertentu, malnutrisi, atau pengguna obat immunosupresif, dapat menunjukkan respons imun yang lemah terhadap antigen tuberculin. Kondisi ini dapat

menyebabkan hasil negatif palsu meskipun individu tersebut telah terinfeksi *Mycobacterium tuberculosis* (Kemenkes RI, 2020).

Riwayat imunisasi *Bacillus Calmette–Guérin* (BCG) juga dapat memengaruhi hasil TST. Vaksinasi BCG dapat menimbulkan reaksi silang terhadap antigen tuberculin sehingga menghasilkan indurasi ringan pada pemeriksaan TST. Pengaruh ini lebih sering terjadi apabila vaksinasi dilakukan dalam waktu yang relatif dekat dengan pemeriksaan TST, dan cenderung menurun seiring bertambahnya waktu sejak imunisasi (Anggraini dan Hutabarat, 2024).

Usia dan kondisi klinis individu turut memengaruhi respons imun terhadap TST. Pada anak usia dini, sistem imun masih dalam tahap maturasi sehingga respons terhadap antigen tuberculin dapat belum optimal. Sebaliknya, pada kelompok lanjut usia, terjadi penurunan fungsi sistem imun yang dapat mengurangi reaktivitas sel T. Kedua kondisi ini dapat menyebabkan variasi hasil TST dan perlu dipertimbangkan dalam interpretasi klinis (Hulu, 2025).

melalui mekanisme penularan dan respons imun seluler yang saling berkaitan. Mekanisme ini menempatkan tingkat *bacterial load* *Mtb* sebagai faktor penting dalam menentukan risiko infeksi TB laten pada individu yang terpajan.

Semakin tinggi jumlah basil *Mtb* pada pasien TB paru, semakin besar pula konsentrasi droplet infeksius yang dilepaskan ke udara saat pasien batuk, berbicara, atau bernapas. Pasien dengan hasil Tes Cepat Molekuler (TCM) kategori medium atau high menunjukkan beban kuman yang lebih tinggi, sehingga memiliki potensi transmisi yang lebih besar terhadap individu di sekitarnya, terutama kontak serumah yang terpapar secara intens dan berulang (Kemenkes RI, 2020).

Paparan droplet infeksius yang terjadi secara berulang akan meningkatkan peluang basil TB terhirup oleh kontak serumah. Inhalasi basil tersebut akan memicu respons imun awal melalui aktivasi makrofag alveolar, yang kemudian mempresentasikan antigen TB kepada limfosit T. Proses ini mengarah pada aktivasi sistem imun seluler dan pembentukan memori imun spesifik terhadap antigen *Mycobacterium tuberculosis*, yang menjadi dasar terjadinya reaktivitas pada pemeriksaan TST (Anggraini dan Hutabarat, 2024).

Respons imun seluler yang terbentuk akan termanifestasi sebagai reaksi hipersensitivitas tipe lambat pada pemeriksaan TST. Aktivasi limfosit T dan pelepasan sitokin proinflamasi menyebabkan infiltrasi sel imun di lokasi penyuntikan PPD, sehingga terbentuk indurasi yang dapat diukur dalam satuan milimeter. Besarnya indurasi mencerminkan adanya sensitisasi imun akibat infeksi TB laten pada kontak serumah (Kemenkes RI, 2020).

Dengan demikian, secara teoritis terdapat hubungan positif antara tingkat *bacterial load Mtb* pasien TB paru dan kemungkinan hasil TST positif pada kontak serumah. Semakin tinggi beban kuman pada sumber penularan, semakin besar risiko paparan efektif dan terbentuknya respons imun seluler pada individu yang kontak erat, yang terdeteksi melalui pemeriksaan TST.

G. Hubungan *bacterial load Mtb* (TCM) dengan reaktivitas tst pada kontak serumah

Hubungan antara *bacterial load Mycobacterium tuberculosis* pada pasien TB paru dan reaktivitas Tuberculin Skin Test (TST) pada kontak serumah dapat dijelaskan melalui mekanisme penularan dan respons imun seluler yang saling berkaitan. Tingkat *bacterial load Mtb* berperan sebagai faktor penting dalam

menentukan risiko infeksi TB laten pada individu yang terpajan. Hasil pemeriksaan Tes Cepat Molekuler (TCM) pada pasien TB paru menunjukkan tingkat *bacterial load Mtb* yang mencerminkan jumlah bakteri yang terdeteksi dalam spesimen, sehingga berkaitan dengan potensi infektivitas pasien dalam menularkan *Mycobacterium tuberculosis* kepada kontak erat, terutama kontak serumah (Kementerian Kesehatan RI, 2023; World Health Organization, 2024).

Semakin tinggi jumlah basil *Mycobacterium tuberculosis* pada pasien TB paru, semakin besar pula konsentrasi droplet infeksius yang dilepaskan ke udara saat pasien batuk, berbicara, atau bernapas. Pasien dengan kategori *bacterial load Mtb* lebih tinggi, seperti *medium* atau *high*, memiliki potensi transmisi yang lebih besar terhadap individu di sekitarnya, terutama kontak serumah yang mengalami pajanan secara intens dan berulang (Kemenkes RI, 2020). Paparan droplet infeksius yang berulang akan meningkatkan peluang basil TB terhirup oleh kontak serumah.

Pada kontak serumah, inhalasi basil tersebut akan memicu respons imun awal melalui aktivasi makrofag alveolar yang kemudian mempresentasikan antigen *Mycobacterium tuberculosis* kepada limfosit T. Proses ini mengarah pada aktivasi sistem imun seluler dan pembentukan memori imun spesifik yang menjadi dasar terjadinya reaktivitas pada pemeriksaan TST. Respons imun seluler tersebut termanifestasi sebagai reaksi hipersensitivitas tipe lambat pada lokasi penyuntikan purified protein derivative (PPD), yang ditandai dengan terbentuknya indurasi yang dapat diukur dalam milimeter (Anggraini dan Hutabarat, 2024; Kemenkes RI, 2020).

Dengan demikian, TST pada kontak serumah digunakan untuk menilai adanya reaktivitas imun sebagai indikator pajanan terhadap *Mtb*. Hasil TST positif

menunjukkan adanya sensitisasi sistem imun yang mengindikasikan kemungkinan infeksi TB laten akibat paparan dari pasien sumber (Kementerian Kesehatan RI, 2021). Hubungan antara hasil TCM pada pasien sumber dan TST pada kontak serumah terjadi secara tidak langsung melalui proses penularan, di mana *bacterial load Mtb* yang lebih tinggi meningkatkan peluang pajanan efektif, yang kemudian memicu respons imun seluler pada kontak serumah dan terdeteksi sebagai reaktivitas TST positif (World Health Organization, 2024).

Dengan demikian, secara teoritis TCM berperan sebagai indikator tingkat infektivitas pasien sumber, sedangkan TST pada kontak serumah berperan sebagai indikator adanya pajanan dan respons imun terhadap *Mtb*. Kombinasi kedua pemeriksaan ini memberikan gambaran hubungan antara sumber penularan dan dampak pajanan dalam satu lingkungan rumah tangga.

H. Penelitian Terdahulu yang Relevan

Tuberkulosis masih menjadi masalah kesehatan masyarakat yang signifikan di tingkat global, nasional, dan daerah. Laporan *World Health Organization* tahun 2024 dan 2025 menunjukkan bahwa Indonesia termasuk negara dengan beban tuberkulosis tertinggi di dunia. Kondisi ini sejalan dengan data nasional dan daerah yang melaporkan masih tingginya jumlah kasus TB, termasuk di Provinsi Bali dan Kota Denpasar. Data dari Badan Pusat Statistik Provinsi Bali serta Dinas Kesehatan Provinsi Bali dan Kota Denpasar menunjukkan bahwa penularan TB di tingkat komunitas masih berlangsung dan membutuhkan penguatan upaya pengendalian secara berkelanjutan.

Dalam konteks diagnosis dan potensi penularan, TCM *Xpert MTB/RIF* telah ditetapkan sebagai standar pemeriksaan TB di Indonesia. Hasil pemeriksaan TCM

tidak hanya berperan dalam menegakkan diagnosis TB paru, tetapi juga menggambarkan tingkat *bacterial load Mtb* pasien. Pedoman nasional dan petunjuk teknis menyatakan bahwa pasien dengan kategori TCM medium dan high memiliki beban kuman yang lebih tinggi dan potensi penularan yang lebih besar. Penelitian oleh Hadi dan Veruswati (2024) mendukung efektivitas penggunaan *Xpert MTB/RIF* dalam penemuan kasus TB. Namun, kajian tersebut masih berfokus pada aspek diagnostik pasien TB aktif dan belum mengaitkan tingkat *bacterial load Mtb* dengan risiko infeksi pada kontak serumah.

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa kontak serumah merupakan kelompok berisiko tinggi terhadap penularan TB. Masriadi (2024), Nurhayati (2025), serta Ulyani dan rekan (2025) melaporkan adanya hubungan antara kontak serumah dan kejadian TB. Sofiyani dan Wijayanti (2022) menambahkan bahwa kondisi lingkungan dan rumah tangga berperan dalam meningkatkan risiko penularan. Meskipun demikian, sebagian besar penelitian tersebut menilai kejadian TB aktif atau faktor risiko lingkungan, tanpa memperhitungkan tingkat infektivitas pasien indeks berdasarkan *bacterial load Mtb* hasil TCM.

Dari sudut pandang imunologi, paparan berulang terhadap *Mtb* dapat memicu aktivasi sistem imun seluler dan pembentukan memori imun. Anggraini dan Hutabarat (2024) menjelaskan bahwa *bacterial load Mtb* pasien TB paru berpengaruh terhadap daya tular, sedangkan Hulu (2025) menegaskan bahwa paparan infeksi yang berulang berperan dalam pembentukan respons imun seluler. Respons imun ini menjadi dasar terjadinya reaktivitas pada pemeriksaan TST sebagai indikator infeksi TB laten. Namun, penjelasan tersebut masih bersifat

teoritis dan belum banyak diuji melalui penelitian lapangan di tingkat pelayanan kesehatan primer.

Penelitian yang secara empiris mengkaji hubungan antara *bacterial load Mtb* pasien TB paru dan hasil TST pada kontak serumah masih terbatas. Studi oleh Hussain dan rekan (2024) menunjukkan bahwa kontak serumah pasien dengan beban kuman tinggi lebih sering menunjukkan hasil TST positif. Namun, penelitian tersebut dilakukan di luar konteks program TB nasional Indonesia dan belum sepenuhnya menggunakan klasifikasi *bacterial load Mtb* berdasarkan hasil TCM yang diterapkan di fasilitas pelayanan kesehatan primer.

Berdasarkan uraian tersebut, terdapat kesenjangan penelitian berupa belum adanya kajian yang secara spesifik menganalisis hubungan tingkat *bacterial load Mtb* pasien TB paru berdasarkan hasil TCM dengan reaktivitas TST pada kontak serumah, khususnya di tingkat puskesmas. Oleh karena itu, penelitian ini penting dilakukan untuk memberikan bukti empiris yang dapat mendukung penguatan strategi investigasi kontak dan deteksi dini infeksi TB laten dalam upaya pengendalian tuberkulosis.

I. Kesenjangan Penelitian

Berdasarkan telaah penelitian terdahulu, sebagian besar kajian menunjukkan bahwa kontak serumah merupakan kelompok berisiko tinggi terhadap penularan tuberkulosis. Berbagai penelitian telah membuktikan hubungan antara kontak serumah dan kejadian TB paru maupun infeksi TB laten. Namun, penelitian-penelitian tersebut umumnya belum memasukkan tingkat infektivitas pasien TB paru sebagai sumber penularan. Variabel *bacterial load Mtb* pasien TB paru, yang dapat ditentukan melalui hasil Tes Cepat Molekuler *Xpert MTB/RIF*, masih jarang

dianalisis secara spesifik dalam kaitannya dengan risiko infeksi pada kontak serumah.

Di sisi lain, Tes Cepat Molekuler telah digunakan secara luas dalam program nasional TB untuk diagnosis TB aktif, sedangkan TST digunakan untuk deteksi infeksi TB laten. Meskipun secara teoritis paparan berulang terhadap *Mtb* dengan beban kuman tinggi dapat memicu respons imun seluler yang terdeteksi melalui TST, bukti empiris yang mengaitkan tingkat *bacterial load Mtb* pasien TB paru dengan reaktivitas TST pada kontak serumah, khususnya di tingkat puskesmas, masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini diperlukan untuk mengisi kesenjangan tersebut dan mendukung penguatan strategi investigasi kontak dan deteksi dini infeksi TB laten.