



Tuberkulosis Paru: Tinjauan Komprehensif dari Patogenesis hingga Tatalaksana Terkini

Firmansyah^{1*}, Muhammad Fatih Yaritsul Firdaus¹, Thalyta¹, Adimas Putero Negoro¹,
Hafiszah Asfahani¹, Emillie Sugarcia¹, Muhammad Iqbal Albashiry¹, Muzakiya
Lailatul Karima¹, Brigitta Devi Anindita Hapsari^{2,3}

1. Program Studi Kedokteran, Fakultas Kedokteran, Universitas Sebelas Maret, Surakarta, Indonesia
2. Bagian Pulmonologi, Fakultas Kedokteran, Universitas Sebelas Maret, Surakarta, Indonesia
3. Rumah Sakit Universitas Sebelas Maret, Sukoharjo, Indonesia

Korespondensi : firmansyah@student.uns.ac.id

ABSTRAK

Pendahuluan: Tuberkulosis paru (TB paru) merupakan penyakit infeksi menular dengan angka morbiditas dan mortalitas tinggi secara global. Meskipun terapi standar telah tersedia, resistensi obat, komplikasi pasca-pengobatan, dan kerusakan paru jangka panjang menjadi tantangan utama.

Metode: Artikel ini merupakan tinjauan pustaka yang merangkum literatur ilmiah dari berbagai database seperti PubMed dan Google Scholar selama periode 2018–2025. Topik yang dikaji meliputi epidemiologi, patogenesis, manifestasi klinis, diagnosis, terapi, komplikasi, dan strategi pencegahan TB paru.

Kesimpulan: Tinjauan ini menekankan pentingnya inovasi diagnostik dan terapi yang berkelanjutan, serta perlunya perhatian terhadap perawatan pasca-TB untuk meningkatkan kualitas hidup pasien.

Kata Kunci: Tuberkulosis paru; patogenesis; diagnosis molekuler; komplikasi pasca-TB; tatalaksana TB

ABSTRACT

Introduction: *Pulmonary tuberculosis (TB) is an infectious disease with high global morbidity and mortality rates. Although standard therapy is available, challenges remain due to drug resistance, post-treatment complications, and long-term lung damage.*

Methods: *This article is a literature review summarizing scientific publications from databases such as PubMed and Google Scholar during the period 2018–2024. The topics reviewed include epidemiology, pathogenesis, clinical manifestations, diagnosis, treatment, complications, and prevention strategies of pulmonary TB.*

Conclusion: *This review highlights the importance of continuous innovation in TB diagnostics and treatment, along with the need for comprehensive post-TB care to improve patients' quality of life.*

Keywords: *Pulmonary tuberculosis; pathogenesis; molecular diagnosis; post-TB complications; management TB*

PENDAHULUAN

Tuberkulosis paru (TBC paru) adalah salah satu penyakit infeksi yang disebabkan oleh *Mycobacterium tuberculosis* dan masih menjadi penyebab kematian utama di seluruh dunia. Pada tahun 2018, diperkirakan terdapat sekitar 10 juta kasus baru dan relaps TBC, dengan lebih dari 1,5 juta kematian, termasuk 251.000 kematian pada pasien HIV-positif (Luies & du Preez, 2020; Wei et al., 2020). Meskipun terapi standar telah tersedia dan 85% dari kasus baru berhasil diobati pada tahun 2017, resistensi obat tetap menjadi tantangan, dengan 18% pasien mengalami resistensi obat di tahun berikutnya.

Manifestasi klinis TBC paru berkembang perlahan dan sering kali tidak spesifik, termasuk batuk kronis berdahak, nyeri dada pleuritik, dispnea, hemoptisis, malaise progresif, kakeksia, keringat malam, penurunan nafsu makan, dan demam atau menggigil (Luies & du Preez, 2020; Wei et al., 2020). Di samping gejala utama, TBC juga dapat menyebabkan komplikasi sistemik sekunder seperti stres oksidatif, hiponatremia, hipokolesterolemia, gangguan hematologi, dan perubahan mikrobiota tubuh. Penelitian seperti penurunan asam sitrat, kreatin, dan peningkatan lipid (Luies & du Preez, 2020).

TBC paru juga dikaitkan dengan komplikasi serius seperti bronkiektasis dan stenosis bronkial, serta peningkatan risiko kanker paru dan non-paru (Bansal et al., 2023; Luczynski et al., 2022). Pneumonia tuberkulosa akut, sebagai bentuk TBC yang akut, sulit dibedakan dari pneumonia komunitas lainnya sehingga diagnosis yang cepat dan akurat sangat penting (Wei et al., 2020). WHO telah merekomendasikan rejimen pengobatan oral jangka pendek selama 9–11 bulan untuk TBC resisten obat, namun efektivitas jangka panjangnya masih dalam penelitian (Alsayed & Gunosewoyo, 2023).

Selain menyelesaikan pengobatan, banyak pasien TBC tetap mengalami gangguan fungsi paru jangka panjang. Sekitar 25% pasien mengalami kerusakan paru persisten yang mempengaruhi kualitas hidup (Bansal et al., 2023). Oleh karena itu, fokus pada perawatan pasca-pengobatan menjadi bagian penting dalam manajemen TBC.

Dalam beberapa tahun terakhir, perkembangan riset di bidang metabolomik, imunologi, dan teknologi diagnostik telah memberikan harapan baru dalam memahami patogenesis TBC dan menyusun terapi yang lebih efektif. Artikel ini disusun sebagai tinjauan pustaka komprehensif yang membahas aspek epidemiologi, patogenesis, manifestasi klinis, diagnosis, tatalaksana, komplikasi, dan pencegahan TBC paru berdasarkan literatur terkini.

METODE

Artikel ini merupakan studi tinjauan pustaka naratif yang bertujuan untuk menyajikan informasi ilmiah terkini terkait tuberkulosis paru. Proses pencarian literatur dilakukan melalui beberapa basis data daring seperti PubMed, ScienceDirect, ResearchGate, dan Google Scholar. Kata kunci yang digunakan dalam pencarian meliputi pulmonary tuberculosis, drug-resistant tuberculosis, TB pathogenesis, TB complications, dan TB management.

Kriteria inklusi dalam seleksi artikel mencakup publikasi ilmiah berupa artikel penelitian, tinjauan sistematis, dan laporan kasus yang relevan, diterbitkan dalam rentang waktu 2018 hingga 2025, dalam bahasa Inggris atau Indonesia, serta memiliki akses penuh terhadap teks lengkap. Artikel yang tidak relevan dengan topik tuberkulosis paru, tidak tersedia dalam versi lengkap, atau tidak memuat data yang valid berdasarkan penilaian penulis dikeluarkan dari telaah.

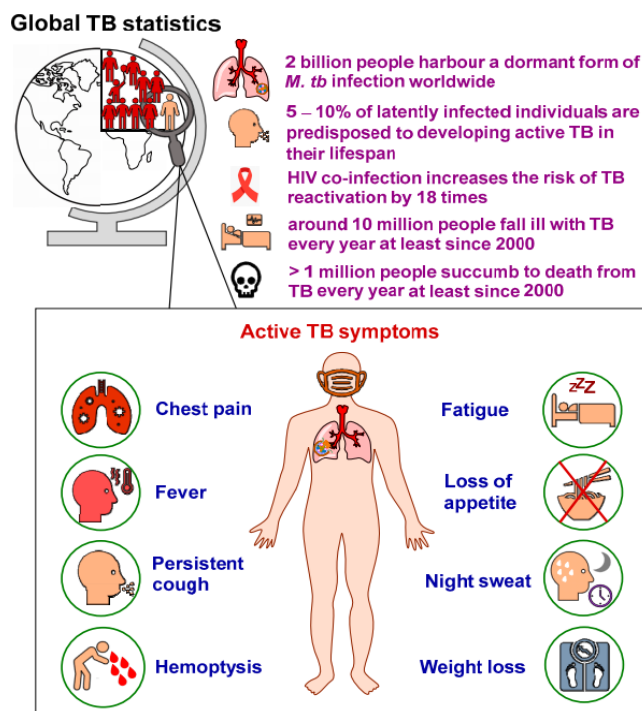
PEMBAHASAN

Etiologi dan Faktor Risiko

Infeksi *M. tuberculosis* dapat menetap dalam tubuh tanpa gejala selama bertahun-tahun, tetapi dapat menjadi aktif jika sistem kekebalan tubuh menurun.

Tuberkulosis paru disebabkan oleh infeksi *Mycobacterium tuberculosis*, yang ditularkan melalui inhalasi droplet udara dari individu yang terinfeksi saat batuk atau bersin. Setelah masuk ke saluran pernapasan, bakteri dapat membentuk fokus Ghon di paru yang kemudian berkembang menjadi kompleks Ghon jika menyebar ke kelenjar getah bening regional. Infeksi ini memicu respons imun seluler, termasuk aktivasi makrofag, produksi sitokin, serta pembentukan granuloma, sebagai mekanisme tubuh untuk membatasi penyebaran bakteri. Salah satu mediator penting dalam kerusakan jaringan paru adalah enzim matriks metalloproteinase (MMP), yang berperan dalam degradasi matriks ekstraseluler dan proses remodeling jaringan, serta berkontribusi pada cedera paru kronis (Bansal et al., 2023).

Faktor risiko yang berkontribusi terhadap infeksi dan keparahan tuberkulosis paru meliputi kebiasaan merokok aktif maupun pasif, riwayat kontak erat dengan pasien TB, riwayat pengobatan TB sebelumnya, status gizi yang buruk, ventilasi rumah yang tidak memadai, tingkat pengetahuan yang rendah tentang TB, serta status sosial ekonomi yang rendah. Perokok aktif memiliki risiko yang lebih tinggi terkena TB dibandingkan non-perokok. Di samping itu, variasi genetik yang memengaruhi respons imun juga diduga berkontribusi terhadap tingkat keparahan kerusakan paru, meskipun masih memerlukan penelitian lebih lanjut (Wei et al., 2020).



Gambar 1. Statistik umum TB dan gejala utama TB paru (Alsayed dan Gunosewoyo, 2023).

Epidemiologi

Tuberkulosis (TBC) paru, yang disebabkan oleh *Mycobacterium tuberculosis*, merupakan salah satu penyebab utama kematian akibat penyakit menular di dunia. Pada tahun 2023, tercatat sekitar 10,8 juta kasus TBC secara global, dengan sebagian besar kasus berasal dari negara-negara dengan beban tinggi seperti India, Indonesia, Cina, Filipina, dan Pakistan. Penyakit ini sangat mudah menular melalui udara, terutama di daerah dengan keterbatasan akses kesehatan dan prevalensi HIV yang tinggi, di mana individu dengan HIV memiliki risiko 18 kali lebih besar mengalami TBC aktif (Rolo et al., 2023).

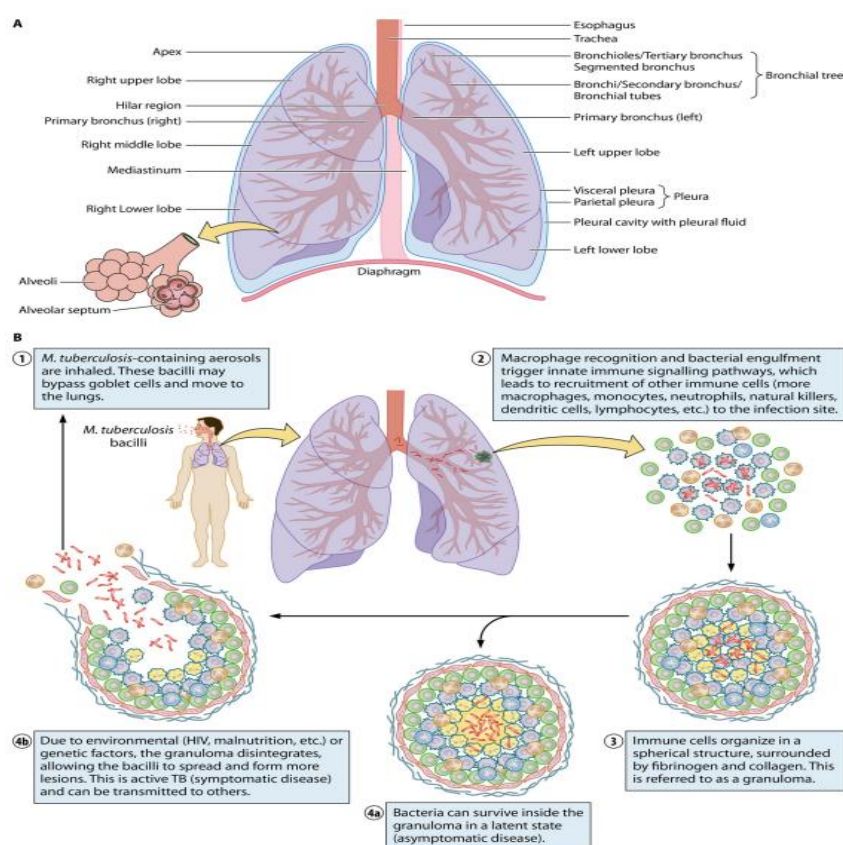
Studi di Anhui, Cina, menunjukkan bahwa TBC paru memiliki insidensi rata-rata 57,7 per 100.000 penduduk per tahun, dengan laki-laki lebih terdampak dibanding perempuan (rasio 2,62:1). Insidensi tertinggi terjadi pada kelompok usia 70–74 tahun, dan sebagian besar kasus berasal dari kelompok petani (Zhu et al., 2020). Di Indonesia, TBC masih menjadi masalah kesehatan masyarakat serius, dengan peningkatan kasus dan tantangan dalam deteksi serta pengobatan yang efektif (Happyanto et al., 2024).

Faktor risiko dan komorbiditas berperan penting, meskipun prevalensi DM dan HIV sebagai komorbid masih relatif rendah di beberapa wilayah. Studi di Puskesmas Sukatani menunjukkan bahwa sebagian besar pasien adalah laki-laki dan tidak merokok, dengan hanya 1,72% pasien memiliki DM dan kurang dari 1% memiliki HIV (Happyanto et al., 2024). Selain itu, TBC paru menunjukkan pola musiman, dengan puncak kasus terjadi pada bulan Januari hingga Maret (Zhu et al., 2020).

TBC ekstrapulmoner mencakup sekitar 20,9% dari seluruh kasus TBC, dengan bentuk paling umum adalah TBC limfatik dan pleura. Faktor risiko EPTB meliputi jenis kelamin perempuan, usia lanjut, dan riwayat TBC sebelumnya (Rolo et al., 2023). Pandemi COVID-19 juga berdampak signifikan terhadap epidemiologi TBC, dengan keterlambatan diagnosis dan pengobatan yang dapat meningkatkan angka kematian (Rolo et al., 2023).

Patogenesis dan Patofisiologi

Patogenesis dan patofisiologi tuberkulosis paru (TBC) melibatkan interaksi kompleks antara bakteri *Mycobacterium tuberculosis* dan sistem imun tubuh. Prosesnya dimulai ketika aerosol yang mengandung bakteri ini dihirup oleh individu yang sehat, biasanya melalui aktivitas seperti batuk, bersin, atau berbicara (Luies dan du Preez, 2020; Maison, 2022). Bakteri ini kemudian masuk ke dalam saluran pernapasan dan mencapai paru-paru, di mana sebagian besar bakteri terjebak oleh sel-sel goblet yang menghasilkan lendir, yang berfungsi sebagai pertahanan pertama tubuh (Luies dan du Preez, 2020). Namun, beberapa bakteri dapat melewati sistem ini dan mencapai bagian atas paru-paru yang teroksidasi dengan baik.



Gambar 2 (A) Anatomi paru-paru. (B) Proses infeksi *M. tuberculosis* dari paparan awal, respons imun, pembentukan granuloma, hingga kondisi laten atau reaktivasi menjadi TBC aktif (Luies & du Preez, 2020).

Patofisiologi infeksi *M. tuberculosis* pada Gambar 2. Setelah infeksi *M. tuberculosis*, basil mencapai paru-paru (langkah 1), yang memicu respons imun inang (langkah 2). Hal ini kemudian menyebabkan pembentukan granuloma (langkah 3), yang biasanya menekan infeksi dalam keadaan laten (langkah 4a). Namun, reaktivasi dapat terjadi, yang mengakibatkan keadaan penyakit aktif di mana penyakit dapat menyebar ke orang lain (langkah 4b) (Luies dan du Preez, 2020).

Di dalam paru-paru, bakteri *M. tuberculosis* diinternalisasi oleh makrofag alveolar, yang kemudian mencoba menghancurkan bakteri tersebut menggunakan enzim proteolitik dan sitokin seperti

tumor necrosis factor alpha (TNF- α) dan *interferon gamma* (IFN- γ) (Luies dan du Preez, 2020; Yang et al., 2023). Respon imun ini memicu pergerakan limfosit ke lokasi infeksi, memulai respon imun seluler yang dapat menghilangkan bakteri atau membentuk granuloma (Luies dan du Preez, 2020; Alsayed dan Gunosewoyo, 2023). Granuloma adalah massa amorf dari sel-sel imun yang bertujuan untuk membatasi penyebaran mikroba (Luies dan du Preez, 2020).

Granuloma yang terbentuk dapat berkembang menjadi struktur yang stabil dengan lapisan limfosit di luar, lapisan fibrosa, dan lapisan makrofag di dalam (Luies dan du Preez, 2020). Meskipun granuloma tidak dapat menghilangkan bakteri sepenuhnya, ia dapat menahan bakteri dan mencegah perkembangan penyakit aktif pada individu dengan sistem imun yang kompeten (Luies dan du Preez, 2020). Namun, bakteri *M. tuberculosis* masih dapat bertahan hidup dalam lesi yang sembuh karena kemampuannya untuk memodifikasi sistem imun inang dan mencegah fusi fagosom-lisosom, sehingga menciptakan lingkungan yang mendukung bagi bakteri untuk bertahan dalam keadaan tidak bereplikasi atau bereplikasi lambat (Luies dan du Preez, 2020; Maison, 2022).

Pada beberapa kasus, granuloma dapat mengalami akumulasi caseum di tengahnya, yang kemudian kehilangan integritasnya dan pecah melalui nekrosis likuefaktif, melepaskan bakteri yang menular dan membentuk kavitas di dinding saluran udara, menyebabkan kerusakan paru-paru pada pasien TBC. Bakteri kemudian dapat menyebar ke seluruh paru-paru dan bahkan ke seluruh tubuh, mengarah pada perkembangan TBC aktif, yang merupakan kondisi simptomatik dan sangat menular (Luies dan du Preez, 2020).

Patofisiologi TBC juga melibatkan proses angiogenesis yang dipengaruhi oleh VEGF (*Vascular Endothelial Growth Factor*), yang berkontribusi penting dalam pembentukan granuloma dan kerusakan jaringan (Maison, 2022). Selain itu, kondisi seperti HIV, malnutrisi, gagal ginjal kronis, diabetes mellitus yang tidak terkontrol, sepsis, kemoterapi, keganasan, penggunaan alkohol yang tidak terkontrol, penggunaan obat immunosupresif setelah transplantasi organ dan merokok dapat memicu perubahan dari TBC laten menjadi aktif (Luies dan du Preez, 2020).

TBC tidak hanya terbatas pada paru namun juga berpotensi mengenai organ lainnya, seperti sistem saraf pusat, menyebabkan tuberkulosis meningitis (TBM). Patogenesis TBM melibatkan penyebaran bakteri melalui aliran darah dan penetrasi ke dalam sistem saraf pusat, di mana bakteri membentuk granuloma leptomeningeal atau kortikal yang dikenal sebagai "Rich focus". Granuloma ini dapat pecah ke dalam ruang subarachnoid, menyebarkan infeksi dan memicu peradangan yang intens (Oo dan Agrawal, 2025).

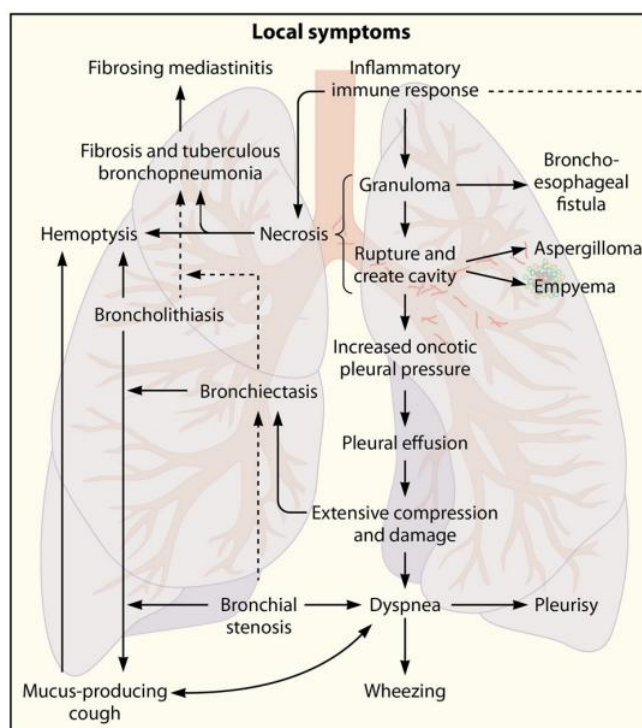
Respon imun dalam TBM melibatkan makrofag dan mikroglia, yang memainkan peran sentral dalam mengontrol replikasi bakteri dan merespons invasi bakteri dengan melepaskan sitokin pro-inflamasi seperti TNF- α dan IL-1 β . Namun, aktivasi mikroglia yang berkepanjangan dapat menyebabkan neurotoksisitas dan gangguan kognitif. Faktor genetik juga mempengaruhi kerentanan terhadap TBM, dengan variasi gen yang mengatur respon imun dan sinyal cytokin yang terkait dengan peningkatan risiko penyakit (Oo dan Agrawal, 2025).

Stres oksidatif juga merupakan elemen penting dalam patogenesis TBM, di mana bakteri *M. tuberculosis* menghadapi pertahanan oksidatif inang dengan menggunakan enzim antioksidan seperti superoksida dismutase dan katalase-peroksidase, memungkinkan bakteri bertahan hidup dalam lingkungan oksidatif. Selain itu, bakteri dapat mempromosikan ferroptosis dengan mengakuisisi besi inang, menghabiskan GPX4, dan memicu peroksidasi lipid, yang memperburuk kerusakan neuron dan peradangan (Oo dan Agrawal, 2025).

Nitrik oksida, spesies nitrogen reaktif (RNS), bereaksi dengan superoksida untuk membentuk peroksintrit, yang merupakan antimikroba kuat yang merusak *M. tuberculosis* tetapi juga berkontribusi pada peradangan dan gangguan sawar darah-otak (Oo dan Agrawal, 2025). Maka dari itu, patogenesis dan patofisiologi TBC melibatkan interaksi kompleks antara bakteri dan sistem imun inang, serta berbagai faktor lingkungan dan genetik yang mempengaruhi perkembangan penyakit.

Manifestasi Klinis

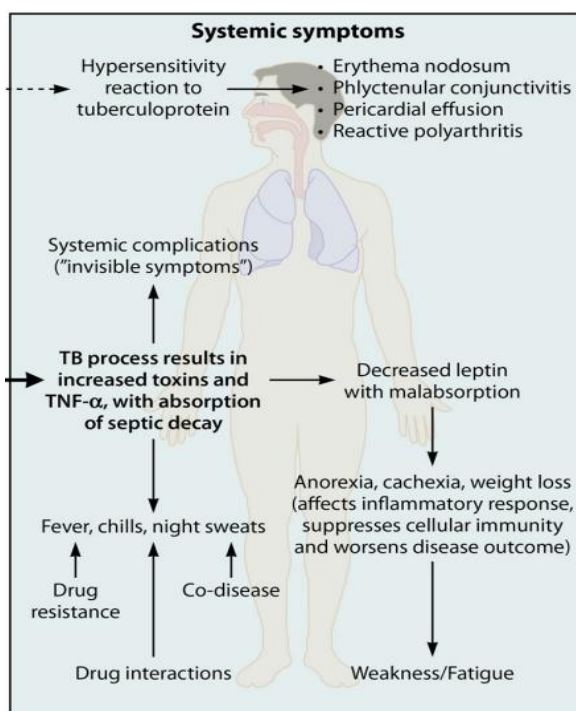
Tuberkulosis paru (TBC paru) menunjukkan gejala yang umumnya berkembang perlahan dan sering kali tidak spesifik. Gejala utama berupa batuk kronis—baik produktif maupun tidak—merupakan gejala paling umum, terutama pada anak-anak (Luies & du Preez, 2020). Selain itu, pasien dapat mengalami nyeri dada, sesak napas, demam ringan hingga sedang (biasanya pada sore atau malam hari), penurunan berat badan, kelelahan, dan keringat malam (Singh & Tiwari, 2019; Tong et al., 2021). Gejala tambahan seperti anoreksia, pucat, limfadenopati, hepatosplenomegali, dan hemoptisis (meskipun jarang pada anak) juga dapat muncul (Singh & Tiwari, 2019).



Gambar 3. Gejala Lokal TBC Paru (Luies dan di Preez, 2020)

Komplikasi yang dapat terjadi termasuk pneumotoraks tuberkulosis yang memerlukan intervensi medis seperti drainase interkostal (Kayongo et al., 2023). Selain itu, TBC paru dapat menyebabkan kerusakan paru jangka panjang berupa fibrosis dan remodeling jalan napas, yang dikenal sebagai post-tuberculosis lung disease (PIAT) (Kayongo et al., 2023). Pada pasien dengan komorbiditas seperti diabetes melitus, gejala TBC paru dapat lebih berat, terutama dalam bentuk kelelahan dan penurunan berat badan, serta kemungkinan anemia (Tong et al., 2021).

Manifestasi sistemik lainnya meliputi stres oksidatif meningkat, hiponatremia, hipokolesterolemia, intoleransi glukosa, defisiensi vitamin D, dan perubahan mikrobiota tubuh (Luies & du Preez, 2020). Secara patofisiologis, kerusakan jaringan paru disebabkan oleh proses inflamasi kronik yang melibatkan aktivasi makrofag dan mekanisme seperti NETosis (Kayongo et al., 2023). TBC paru juga berisiko menimbulkan penyakit paru obstruktif kronik (PPOK) di kemudian hari, terutama jika terjadi keterlambatan pengobatan, infeksi ulang, atau luasnya keterlibatan paru saat diagnosis awal (Kayongo et al., 2023).



Gambar 4. Gejala Sistemik TBC Paru (Luies dan du Preez, 2020)

Tantangan dalam diagnosis TBC paru terletak pada gejalanya yang tidak spesifik dan hasil radiologi yang tidak selalu konsisten. Oleh karena itu, pendekatan diagnostik canggih seperti metabolomik kini menjadi penting dalam memahami mekanisme penyakit dan meningkatkan akurasi diagnosis (Luies & du Preez, 2020). Pendekatan terapi pun perlu bersifat holistik, termasuk penggunaan regimen anti-TBC standar serta intervensi tambahan jika terjadi komplikasi seperti pneumotoraks (Singh & Tiwari, 2019).

Dalam beberapa tahun terakhir, penelitian juga telah menunjukkan bahwa TBC paru dapat mempengaruhi kualitas hidup pasien secara signifikan, terutama jika tidak diobati dengan baik (Luies dan du Preez, 2020). Maka dari itu, penting untuk memastikan bahwa pasien menerima perawatan yang tepat dan mendapatkan dukungan yang memadai untuk mengatasi gejala dan komplikasi yang terkait dengan TBC paru.

Secara keseluruhan, manifestasi klinis TBC paru melibatkan berbagai gejala yang kompleks dan memerlukan pendekatan diagnostik dan terapeutik yang komprehensif. Pemahaman yang lebih baik tentang patogenesis dan komplikasi TBC paru dapat membantu dalam pengembangan strategi pengobatan yang lebih efektif untuk meningkatkan hasil kesehatan pasien.

Klasifikasi

Klasifikasi TBC (Tuberkulosis) telah berkembang secara signifikan dalam beberapa tahun terakhir, terutama dalam upaya untuk memperbaiki pemahaman dan pengelolaan penyakit ini. Salah satu pendekatan baru adalah kerangka kerja International Consensus for Early TB (ICE-TB), yang dikembangkan melalui proses Delphi yang melibatkan banyak ahli dari berbagai disiplin dan geografi. ICE-TB membedakan antara infeksi dan penyakit berdasarkan adanya patologi makroskopik dan mendefinisikan empat negara penyakit TBC: dua subklinis dan dua klinis, yang dibedakan berdasarkan gejala atau tanda TBC dan kemungkinan penularan (Coussens et al., 2024).

Klasifikasi ini bertujuan untuk menyederhanakan paradigma aktif-latent yang saat ini digunakan, yang dianggap terlalu sederhana dan tidak mencakup spektrum penyakit secara lengkap. Dengan mempertimbangkan dimensi seperti patologi makroskopik, penularan, gejala TBC, dan respons

inang, ICE-TB memberikan arah yang jelas untuk penelitian TBC dan kebijakan eliminasi. Selain itu, klasifikasi ini juga mempertimbangkan kebutuhan untuk memahami proses patofisiologis penyakit, bukan hanya kemampuan diagnostik saat ini (Coussens et al., 2024).

Di samping itu, klasifikasi TBC juga melibatkan kategorisasi berdasarkan resistensi obat. TBC resisten obat (DR-TB) dibagi menjadi beberapa kategori, termasuk Multidrug-Resistant Tuberculosis (MDR-TB) dan Extensively Drug-Resistant Tuberculosis (XDR-TB) (Alsayed & Gunosewoyo, 2023). MDR-TB menunjukkan resistensi terhadap setidaknya dua obat utama, yaitu isoniazid dan rifampicin, sedangkan XDR-TB menunjukkan resistensi terhadap kedua obat tersebut serta fluoroquinolone dan setidaknya satu obat kedua garis. Klasifikasi ini menjadi prioritas lebih dalam menentukan rejimen pengobatan yang tepat dan mencegah peningkatan resistensi obat lebih lanjut (Prasanna dan Niranjana, 2019).

Penggunaan teknologi Next Generation Sequencing (NGS) telah mempercepat identifikasi mutasi yang menyebabkan resistensi obat, memungkinkan diagnosis yang lebih akurat dan pengembangan strategi pengobatan yang lebih efektif. Dengan menganalisis data genomik, peneliti dapat memprediksi pola resistensi dan mengembangkan obat-obatan baru yang dapat mengatasi mutasi tersebut (Prasanna dan Niranjana, 2019). Hal ini menjadi prioritas lebih dalam menghadapi tantangan resistensi obat yang terus meningkat dan memastikan bahwa pengobatan TBC tetap efektif.

Klasifikasi TBC pada anak-anak juga telah menjadi fokus penelitian terbaru. Sebuah studi telah mengusulkan kerangka kerja yang lebih komprehensif untuk mengklasifikasikan TBC pada anak-anak, yang mencakup spektrum dan keparahan penyakit. Klasifikasi ini berdasarkan pada data klinis, bakteriologis, histopatologis, dan pencitraan, serta mempertimbangkan keberadaan komplikasi. Dengan demikian, klasifikasi ini dapat membantu dalam pengelolaan klinis dan penelitian diagnostik serta strategi pengobatan yang lebih tepat untuk anak-anak.

Selain itu, pentingnya klasifikasi yang akurat dan komprehensif dalam TBC tidak hanya terbatas pada aspek klinis, tetapi juga memiliki dampak pada kebijakan kesehatan masyarakat. Dengan memahami spektrum penyakit yang lebih luas, pemerintah dan organisasi kesehatan dapat mengembangkan strategi yang lebih efektif untuk pencegahan dan eliminasi TBC. Hal ini termasuk peningkatan akses ke diagnosis yang lebih baik dan pengobatan yang tepat, serta kampanye kesadaran masyarakat untuk mengurangi penularan (Coussens et al., 2024).

Dalam beberapa tahun terakhir, penelitian juga telah menekankan pentingnya memahami proses patofisiologis TBC secara lebih mendalam. Dengan memahami bagaimana *Mycobacterium tuberculosis* berinteraksi dengan tubuh inang, peneliti dapat mengembangkan strategi pengobatan yang lebih efektif dan vaksin yang lebih baik. Klasifikasi yang akurat dan komprehensif memainkan peran kunci dalam proses ini, karena memungkinkan peneliti untuk memahami berbagai tahap penyakit dan mengembangkan intervensi yang tepat untuk setiap tahap (Coussens et al., 2024).

Klasifikasi TBC juga berdampak pada pengembangan vaksin baru. Dengan memahami spektrum penyakit yang lebih luas, peneliti dapat mengembangkan vaksin yang lebih efektif dalam mencegah berbagai bentuk TBC, termasuk bentuk yang resisten obat. Hal ini menjadi prioritas lebih dalam upaya global untuk mengeliminasi TBC, karena vaksinasi merupakan salah satu strategi pencegahan yang paling efektif (Coussens et al., 2024).

Dalam konteks resistensi obat, klasifikasi yang akurat memungkinkan peneliti untuk mengidentifikasi mutasi spesifik yang menyebabkan resistensi dan mengembangkan strategi pengobatan yang dapat mengatasi mutasi tersebut. Dengan demikian, klasifikasi TBC yang komprehensif tidak hanya memperbaiki pengobatan individu, tetapi juga membantu dalam menghadapi tantangan resistensi obat secara global (Prasanna dan Niranjana, 2019).

Pengembangan klasifikasi TBC yang lebih baik juga memerlukan kerja sama internasional dan multidisiplin. Dengan melibatkan ahli dari berbagai bidang dan negara, peneliti dapat mengembangkan standar yang konsisten dan efektif untuk diagnosis dan pengobatan TBC (Coussens et al., 2024). Hal

ini menjadi prioritas lebih dalam mencapai tujuan eliminasi TBC secara global, karena memungkinkan peneliti untuk berbagi pengetahuan dan sumber daya secara lebih efektif (Coussens et al., 2024).

Diagnosis

Diagnosis TB dimulai dengan pasien yang dicurigai menderita TB, baik mereka yang baru pertama kali didiagnosis tanpa riwayat pengobatan sebelumnya, tidak memiliki riwayat kontak dekat dengan pasien TB resisten obat (RO), atau mereka yang status HIV-nya tidak diketahui. Langkah pertama melibatkan pemeriksaan klinis dan bakteriologis menggunakan mikroskop atau TCM. Jika TCM tidak tersedia, pemeriksaan mikroskopis BTA dilakukan. Hasil negatif pada pemeriksaan ini mengarahkan pada pemeriksaan foto toraks untuk mencari tanda-tanda yang mendukung TB. Jika tanda-tanda tersebut ditemukan, terapi antibiotik non-OAT diterapkan. Jika terjadi perbaikan klinis, diagnosis TB dibatalkan dan penyebab lainnya dicari. Namun, jika tidak ada perbaikan dan terdapat faktor risiko TB, dokter dapat memutuskan untuk memulai pengobatan TB lini 1 berdasarkan diagnosis klinis.

Jika hasil pemeriksaan BTA positif, TB dikonfirmasi secara bakteriologis dan pengobatan TB lini 1 dimulai. Pada pasien dengan akses TCM, hasil positif MTB dengan Rifampisin yang sensitif mengarah pada pengobatan TB lini 1. Jika hasil TCM menunjukkan MTB positif dengan Rifampisin yang tidak pasti, pemeriksaan TCM diulang. Sementara itu, hasil MTB positif dengan Rifampisin resisten menunjukkan TB RO, yang memerlukan pemeriksaan biakan dan uji kepekaan OAT lini 1 dan lini 2 sebelum memulai pengobatan TB RO.

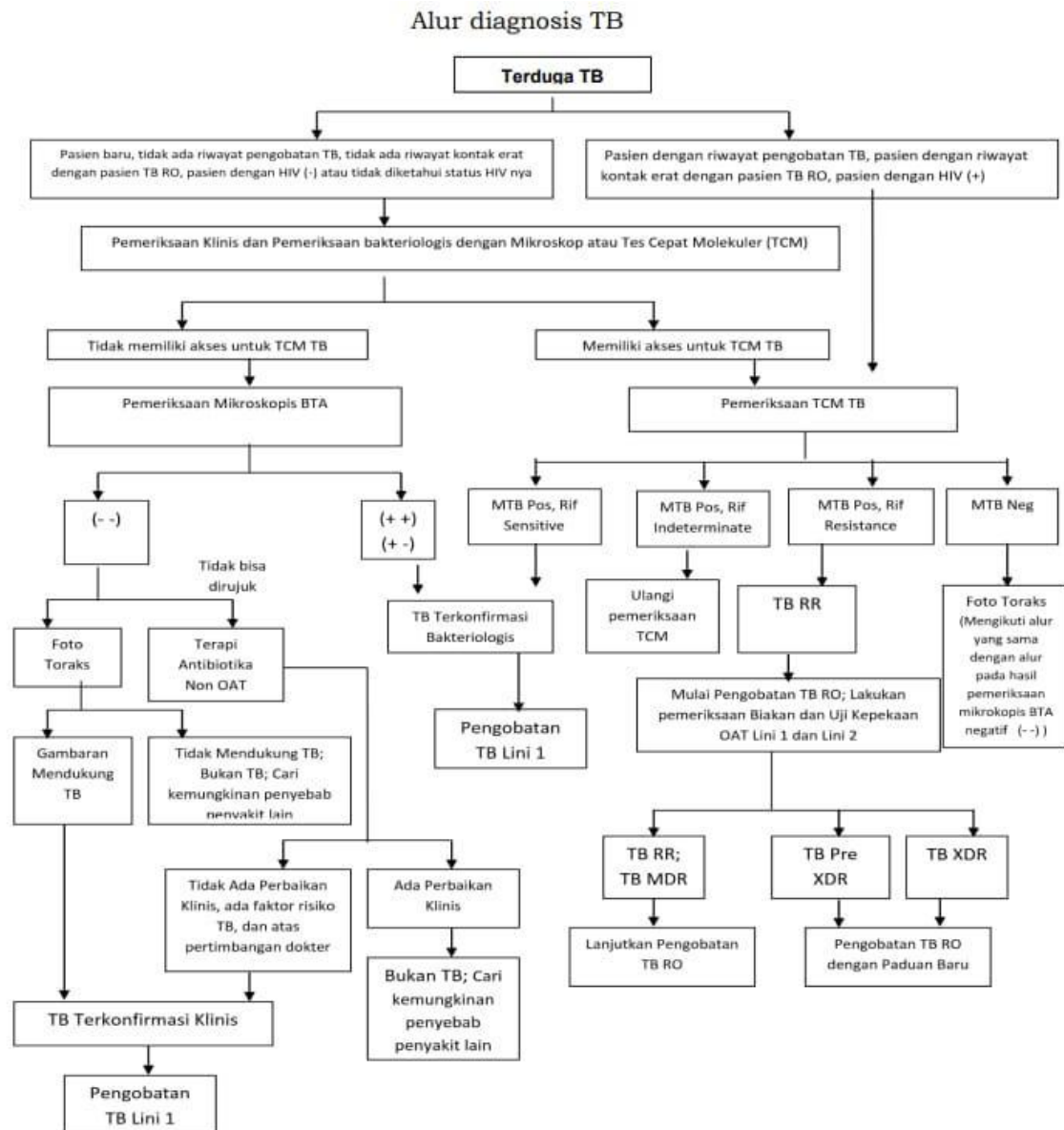
Pada pasien TB RO, pengobatan disesuaikan berdasarkan tingkat resistensi obat: jika terdeteksi sebagai TB RR atau MDR, pengobatan RO dilanjutkan; untuk kasus Pre-XDR atau XDR, pengobatan dilakukan dengan menggunakan kombinasi obat baru. Jika hasil TCM menunjukkan MTB negatif, alur diagnosis mengikuti langkah yang sama seperti pada hasil mikroskopis BTA negatif, yaitu mengacu pada foto toraks untuk menentukan langkah selanjutnya. Diagnosis tuberkulosis (TBC) telah berkembang pesat dalam beberapa tahun terakhir, dengan berbagai metode yang digunakan untuk mendeteksi penyakit ini. Tradisionalnya, sputum smear microscopy dan kultur bakteri digunakan sebagai metode dasar, namun keterbatasan sensitivitas dan waktu yang lama untuk hasil membuatnya kurang efektif dalam situasi darurat. Maka dari itu, metode molekuler seperti polymerase chain reaction (PCR) dan loop-mediated isothermal amplification (LAMP) telah menjadi pilihan utama karena dapat meningkatkan sensitivitas dan spesifisitas dalam mendeteksi *Mycobacterium tuberculosis* (Bartolomeu-Gonçalves et al., 2024; Yayan et al., 2024).

Xpert MTB/RIF assay adalah salah satu alat diagnostik molekuler yang paling umum digunakan saat ini. Assay ini tidak hanya dapat mendeteksi keberadaan *M. tuberculosis* tetapi juga resistensi terhadap rifampicin, yang merupakan obat utama dalam pengobatan TBC. Xpert MTB/RIF Ultra, versi yang lebih baru, menawarkan sensitivitas yang lebih tinggi, meskipun dengan spesifisitas yang sedikit lebih rendah. Kedua alat ini direkomendasikan oleh WHO untuk diagnosis TBC, terutama dalam kasus TBC paru dan ekstrapulmoner (Gill et al., 2022; Yayan et al., 2024).

Selain itu, penggunaan biomarker dan teknologi canggih seperti artificial intelligence (AI) dalam radiologi juga sedang dikembangkan untuk meningkatkan akurasi diagnosis TBC. Biomarker ini dapat membantu membedakan antara infeksi laten dan aktif, serta memantau respons terhadap pengobatan. Namun, pengembangan biomarker ini masih memerlukan validasi lebih lanjut untuk memenuhi kriteria yang ditetapkan oleh WHO (Huang et al., 2022; Nogueira et al., 2022).

Penggunaan immunochromatographic (ICT) assays juga menawarkan kemudahan dan kecepatan dalam identifikasi cepat *M. tuberculosis* dari kultur positif. ICT assays memiliki sensitivitas dan spesifisitas yang tinggi, sehingga direkomendasikan oleh WHO untuk penggunaan rutin. T-SPOT assay, yang berbasis pada ELISPOT, berguna dalam mendeteksi infeksi TBC, terutama pada pasien HIV dan anak-anak, namun tidak dapat membedakan antara infeksi laten dan aktif (Huang et al., 2022).

Nucleic acid amplification tests (NAATs) menawarkan sensitivitas yang lebih tinggi dibandingkan metode tradisional dan dapat mendeteksi *M. tuberculosis* dalam jumlah bakteri yang rendah, membuatnya ideal untuk kasus paucibacillary. Meskipun NAATs memerlukan fasilitas laboratorium yang canggih, teknologi portabel dan sederhana mulai tersedia, memungkinkan penggunaannya di berbagai lingkungan (Yayan et al., 2024).



Gambar 5. Alur diagnosis TB Paru (Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, 2020)

Diagnosis TBC ekstrapulmoner masih menimbulkan tantangan karena gejala yang tidak spesifik dan keterbatasan metode diagnostik. Pengembangan metode baru seperti flow cytometry dan mass spectrometry dapat membantu meningkatkan akurasi diagnosis pada kasus ini (Huang et al., 2022). Selain itu, penggunaan whole genome sequencing (WGS) dan line probe assays juga dapat membantu dalam identifikasi strain resisten dan memantau evolusi penyakit (Gill et al., 2022).

Pengembangan biomarker serum untuk TBC juga sedang dalam proses. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa kombinasi cytokine tertentu dapat membentuk biosignature yang akurat untuk

diagnosis TBC aktif, terutama pada populasi dengan prevalensi TBC yang tinggi. Namun, validasi lebih lanjut diperlukan untuk memastikan keefektifannya di berbagai populasi dan geografi (Nogueira et al., 2022).

Dalam beberapa tahun terakhir, penelitian terus berfokus pada pengembangan metode diagnostik yang lebih cepat, akurat, dan terjangkau. Hal ini penting untuk meningkatkan kualitas perawatan pasien TBC dan mengurangi penyebaran penyakit, terutama di negara-negara dengan beban TBC yang tinggi (Bartolomeu-Gonçalves et al., 2024; Yayan et al., 2024). Integrasi teknologi canggih dan metode molekuler yang lebih maju diharapkan dapat memperbaiki diagnosis dan pengobatan TBC di masa depan.

Penggunaan teknologi AI dalam analisis radiologi juga menjanjikan dalam meningkatkan akurasi diagnosis TBC. AI dapat membantu dokter dalam menganalisis gambar radiologi dengan lebih cepat dan akurat, sehingga memungkinkan deteksi dini dan pengobatan yang lebih efektif (Bartolomeu-Gonçalves et al., 2024). Namun, pengembangan ini masih memerlukan penelitian lebih lanjut untuk memastikan keefektifannya dalam berbagai kondisi klinis.

Dalam upaya mengatasi tantangan diagnostik TBC, terutama di daerah dengan sumber daya terbatas, pengembangan alat diagnostik yang sederhana, cepat, dan terjangkau menjadi prioritas. Hal ini termasuk pengembangan teknologi portabel yang dapat mendeteksi *M. tuberculosis* tanpa memerlukan fasilitas laboratorium yang canggih (Yayan et al., 2024). Dengan demikian, diagnosis dan pengobatan TBC dapat menjadi lebih merata dan efektif di seluruh dunia.

Tatalaksana

Tatalaksana kuratif Tuberkulosis (TBC) bertujuan untuk memberantas infeksi, mencegah penularan, dan menghindari timbulnya resistensi obat. Terapi standar untuk TBC peka obat (drug-sensitive TB) menggunakan kombinasi empat obat utama: isoniazid (H), rifampisin (R), pirazinamid (Z), dan etambutol (E). Rejimen ini terbagi dalam dua fase, yaitu fase intensif selama dua bulan dengan HRZE, dan fase lanjutan selama empat bulan menggunakan HR. Total durasi terapi adalah enam bulan, yang telah terbukti efektif dalam mayoritas kasus (Alsayed & Gunosewoyo, 2023).

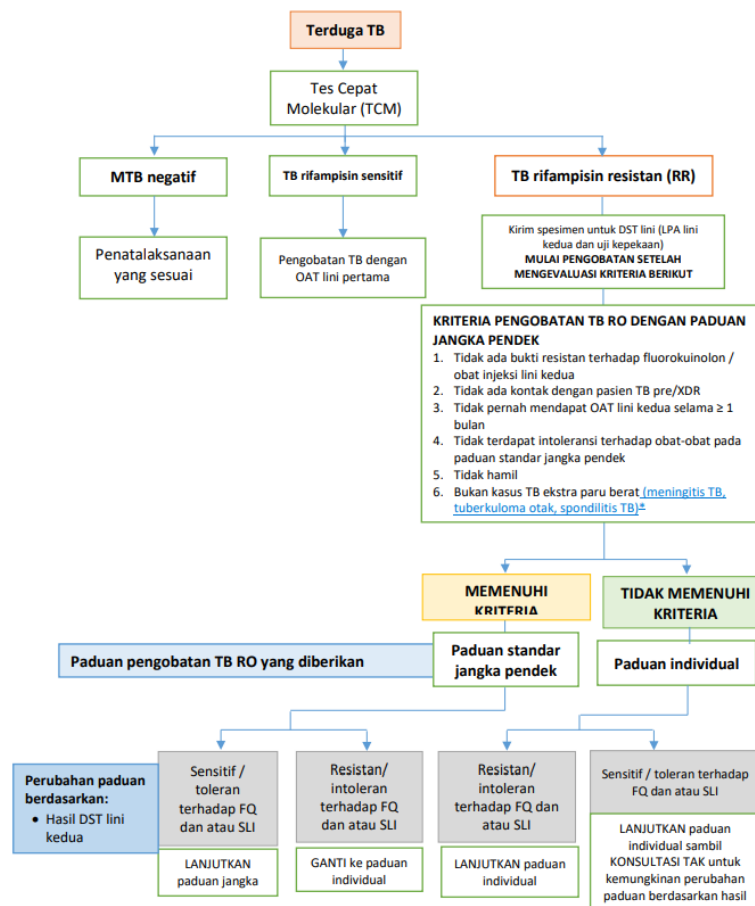
Namun, pengembangan rejimen yang lebih singkat kini tengah menjadi fokus utama untuk meningkatkan kepatuhan pasien. Salah satu rejimen empat bulan yang melibatkan isoniazid, rifapentin, moxifloksasin, dan pirazinamid telah menunjukkan efektivitas yang setara dengan rejimen enam bulan dalam uji klinis terbaru (Saukkonen et al., 2025). WHO kini merekomendasikan rejimen ini sebagai alternatif pada pasien tertentu dengan kondisi klinis yang sesuai.

Dosis harian obat anti-TB lini pertama disesuaikan berdasarkan berat badan pasien. Isoniazid diberikan sebesar 5 mg/kgBB (maksimum 300 mg), rifampisin 10 mg/kgBB (maksimum 600 mg), pirazinamid 25 mg/kgBB, dan etambutol 15 mg/kgBB. Jika terapi diberikan tiga kali seminggu, dosis disesuaikan naik untuk mempertahankan efektivitas farmakokinetik (Kemenkes RI, 2021).

Evaluasi keberhasilan pengobatan TBC melibatkan pemeriksaan bakteriologis. Pasien dinyatakan "sembuh" jika pada akhir terapi menunjukkan hasil sputum BTA/kultur negatif, setelah sebelumnya terbukti positif. Sementara itu, pasien yang menyelesaikan terapi tanpa konfirmasi negatif akhir dikategorikan sebagai "pengobatan lengkap" (WHO, 2022). Sebaliknya, kegagalan terapi didefinisikan sebagai hasil positif sputum setelah lima bulan terapi, dan ketidakhadiran pengobatan selama ≥ 2 bulan berturut-turut diklasifikasikan sebagai "putus obat".

Pada kasus TBC resisten obat (drug-resistant TB), penatalaksanaan menjadi lebih kompleks. Multidrug-resistant TB (MDR-TB), yang didefinisikan sebagai resistensi terhadap isoniazid dan rifampisin, memerlukan regimen khusus dengan durasi lebih lama. WHO merekomendasikan rejimen jangka pendek (9–11 bulan) berbasis oral yang mencakup obat-obatan seperti bedakilin, moxifloksasin, klofazimin, dan linezolid, jika pasien memenuhi kriteria tertentu seperti tidak adanya resistensi terhadap fluoroquinolon dan obat injeksi lini kedua (WHO, 2023; Alsayed & Gunosewoyo, 2023).

Untuk kasus yang tidak memenuhi kriteria rejimen jangka pendek, digunakan pendekatan individual berdasarkan hasil Drug Susceptibility Testing (DST) atau Line Probe Assay (LPA). Rejimen individual dapat melibatkan kombinasi dari bedakilin, delamanid, linezolid, cycloserine, serta obat-obatan lini ketiga lainnya dengan durasi terapi hingga 18–20 bulan (Zhuang et al., 2024).



Gambar 6 Alur diagnosis dan tatalaksana TB-RO (Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, 2020)

Tatalaksana TB juga mencakup pemantauan efek samping obat seperti hepatotoksitas dari isoniazid atau rifampisin, serta neuropati akibat isoniazid. Oleh karena itu, pendekatan multidisiplin sangat penting, melibatkan dokter, perawat, farmasis, dan petugas pengawas minum obat (PMO) untuk memastikan kepatuhan dan keselamatan terapi (Saukkonen et al., 2025).

Meskipun vaksin *Bacillus Calmette-Guérin* (BCG) masih menjadi satu-satunya vaksin yang tersedia, efektivitasnya terbatas pada anak-anak dan tidak memberikan perlindungan optimal pada orang dewasa. Upaya pengembangan vaksin baru dan imunoterapi adjuvan sedang dikembangkan untuk memperkuat strategi kuratif yang ada (Zhuang et al., 2024).

Dengan kemajuan dalam diagnostik molekuler seperti Tes Cepat Molekular (TCM) dan Line Probe Assay, serta optimalisasi terapi melalui rejimen singkat dan obat baru, diharapkan hasil pengobatan TBC dapat terus ditingkatkan dan resistensi dapat ditekan.

Efek Samping Obat

Efek samping obat antituberkulosis (OAT) merupakan tantangan besar dalam keberhasilan terapi tuberkulosis karena dapat memengaruhi kepatuhan pasien. Efek samping ini diklasifikasikan menjadi ringan dan berat. Efek samping ringan umumnya mencakup gangguan gastrointestinal seperti mual, muntah, nyeri perut, dan anoreksia, yang sering kali dapat diatasi dengan pemberian obat bersama

makanan ringan. Selain itu, efek seperti nyeri sendi akibat isoniazid dapat ditangani dengan analgesik, sementara neuropati perifer yang ditimbulkan oleh isoniazid dapat dicegah dengan suplementasi piridoksin (vitamin B6) dosis 50–75 mg/hari.

Efek samping berat melibatkan kondisi serius yang memerlukan penghentian sebagian atau seluruh regimen OAT. Hepatotoksisitas merupakan salah satu efek samping paling serius dan sering terjadi, terutama akibat isoniazid, rifampisin, dan pirazinamid. Manifestasi klinis seperti ikterus dan peningkatan transaminase hepatic biasanya muncul dalam 6–30 hari sejak dimulainya pengobatan. Selain itu, gangguan dermatologis seperti ruam kulit berat, gangguan penglihatan akibat etambutol, serta gangguan pendengaran dan vertigo yang disebabkan oleh streptomisin juga termasuk dalam kategori efek samping berat.

Data dari Sazali et al. (2023) menunjukkan bahwa gangguan gastrointestinal adalah efek samping yang paling sering dilaporkan (18,4%), diikuti oleh gangguan psikiatrik (5,5%), artralgia (4,7%), hepatotoksisitas (3,9%), neuropati perifer (3,1%), gangguan tiroid (2,3%), epilepsi (2,0%), gangguan kulit (2,0%), gangguan pendengaran (1,6%), dan cedera ginjal (1,2%). Studi lain juga melaporkan kejadian reaksi gastrointestinal (7,4%), reaksi kulit (3,7%), hepatotoksisitas (2,0%), artralgia (1,14%), reaksi imunologis (1,07%), gangguan neuropsikiatrik (0,7%), dan gangguan okular (0,1%).

Faktor risiko yang berkontribusi terhadap terjadinya efek samping OAT antara lain usia lanjut (di atas 60 tahun), riwayat hepatitis, dan koinsidensi infeksi HIV. Pasien HIV yang juga menerima terapi antiretroviral (ART) memiliki risiko lebih tinggi mengalami efek samping karena interaksi obat dan beban tablet yang lebih besar. Penelitian menunjukkan bahwa 23% pasien harus menghentikan salah satu dari tiga OAT utama akibat efek samping berat, dengan hepatotoksisitas sebagai penyebab utama, disusul oleh exanthema dan artralgia (Sazali et al., 2023).

Pengobatan TBC seringkali kompleks dan melibatkan banyak obat, yang dapat mempengaruhi kepatuhan pasien. Pasien dengan HIV yang juga menerima pengobatan antiretroviral (ART) menghadapi beban tablet yang lebih tinggi, yang dapat memperburuk efek samping dan mengurangi kepatuhan (Sazali et al., 2023). Maka dari itu, pemantauan yang ketat dan penyesuaian pengobatan jika diperlukan menjadi prioritas lebih untuk memastikan keberhasilan pengobatan.

Dalam beberapa kasus, efek samping dapat menyebabkan pasien harus berhenti menggunakan salah satu obat TBC. Sebuah penelitian menunjukkan bahwa 23% pasien harus berhenti menggunakan salah satu dari tiga obat utama (isoniazid, rifampin, atau pyrazinamide) karena efek samping yang parah (Sazali et al., 2023). Hepatotoksisitas adalah penyebab utama penghentian pengobatan, diikuti oleh exanthema dan artralgia.

Pengelolaan efek samping yang efektif menjadi prioritas lebih untuk meningkatkan hasil pengobatan TBC. Pasien dengan efek samping serius cenderung memiliki lama rawat inap yang lebih panjang dibandingkan dengan mereka yang tidak mengalami efek samping. Maka dari itu, pemantauan yang ketat dan intervensi dini dapat membantu mengurangi dampak efek samping dan meningkatkan kepatuhan pasien terhadap pengobatan.

Selain itu, penelitian terbaru menekankan pentingnya memahami profil efek samping obat TBC untuk meningkatkan prognosis pasien. Dengan pemahaman yang lebih baik tentang efek samping dan faktor risikonya, dokter dapat memberikan perawatan yang lebih tepat dan meningkatkan keberhasilan pengobatan.

Dalam beberapa tahun terakhir, penelitian terus berfokus pada pengembangan strategi untuk mengurangi efek samping obat TBC dan meningkatkan kepatuhan pasien. Salah satu strategi yang dipertimbangkan adalah penggunaan formulasi obat yang lebih ramah dan penyesuaian dosis berdasarkan profil efek samping individu (Sazali et al., 2023). Dengan demikian, diharapkan dapat meningkatkan efektivitas pengobatan dan mengurangi beban efek samping pada pasien.

Pengobatan TBC juga seringkali terpengaruh oleh kondisi kesehatan lain yang dialami pasien, seperti HIV. Pasien dengan HIV memiliki risiko lebih tinggi mengalami efek samping yang parah karena interaksi antara obat TBC dan antiretroviral (Sazali et al., 2023). Maka dari itu, penanganan yang komprehensif dan koordinasi antara dokter spesialis TBC dan HIV menjadi prioritas lebih untuk memastikan keamanan dan keefektifan pengobatan.

Dalam upaya meningkatkan kepatuhan pasien terhadap pengobatan TBC, penting untuk mempertimbangkan kompleksitas regimen pengobatan dan beban tablet yang harus dihadapi pasien. Dengan demikian, strategi seperti penggunaan formulasi obat yang lebih sederhana dan peningkatan dukungan sosial dapat membantu meningkatkan keberhasilan pengobatan dan mengurangi dampak efek samping pada pasien.

Komplikasi dan Prognosis

Komplikasi dan prognosis tuberkulosis (TBC) sangat kompleks dan beragam, tergantung pada lokasi dan keparahan penyakit. Salah satu komplikasi yang signifikan adalah tuberkuloma intrakranial, yang dapat menimbulkan reaksi paradoks selama pengobatan. Reaksi paradoks ini ditandai dengan pembesaran atau munculnya lesi baru, yang sering terjadi dalam enam bulan pertama setelah pengobatan dimulai, tetapi kadang-kadang dapat tertunda hingga lebih dari setahun. Meskipun pengobatan yang tepat, lesi ini dapat bertahan selama bertahun-tahun, dan ukuran lesi yang lebih besar (>2.5 cm) lebih cenderung bertahan setelah 18-24 bulan pengobatan (Nightingale et al., 2023).

Selain itu, TBC juga dapat menyebabkan berbagai komplikasi jangka panjang, termasuk penyakit paru-paru pasca-TBC (PTLD), yang mempengaruhi 18-87% pasien setelah pengobatan selesai. PTLD ini sering menyebabkan gangguan fungsi paru-paru, kegagalan pernapasan kronis, dan hipertensi pulmonal, yang secara signifikan mempengaruhi kualitas hidup pasien. Komplikasi lain termasuk gangguan neurologis, penyakit jantung, dan masalah psikologis. Pasien yang selamat dari TBC sering mengalami penurunan kualitas hidup yang signifikan, termasuk kerugian ekonomi dan gangguan sosial (Nightingale et al., 2023).

Tuberkulosis meningeal (TBM) adalah bentuk TBC yang paling parah dan berdampak besar pada morbiditas dan mortalitas. TBM menyebabkan kematian atau kecacatan neurologis pada lebih dari 50% kasus, meskipun telah menerima pengobatan yang direkomendasikan oleh WHO. Penggunaan rifampisin dosis tinggi telah dipertimbangkan untuk meningkatkan kelangsungan hidup pasien TBM. Faktor-faktor yang mempengaruhi prognosis TBM termasuk status imun, usia, dan keberadaan infeksi HIV (Marais et al., 2019).

Komplikasi akut dan subakut TBC disebabkan oleh kerusakan struktural atau kompromi vaskular akibat *Mycobacterium tuberculosis*, serta respons inflamasi dan abnormalitas metabolik. Komplikasi kronis dapat timbul dari perubahan anatomi pada lokasi penyakit, seperti miyotoma dalam rongga sisa TBC atau defisit neurologis fokal akibat tuberkuloma. Pengelolaan TBC yang efektif memerlukan perhatian terhadap komplikasi struktural, metabolik, vaskular, dan infeksi.

Selain itu, TBC juga dapat menyebabkan komplikasi kardiovaskular, seperti perikarditis, miokarditis, penyakit arteri koroner, dan aortitis. Perikarditis adalah komplikasi yang paling umum, tetapi mortalitas pasien dengan keterlibatan kardiovaskular dapat mencapai 60%. Aortitis tuberkulosis adalah komplikasi yang jarang terjadi tetapi berpotensi fatal, seringkali terkait dengan aneurisma dan memerlukan pengobatan bedah serta medis yang intensif (Adefuye et al., 2022).

Pengobatan TBC yang efektif memerlukan kesadaran akan interaksi farmakologis antara obat anti-TBC dan obat lain yang digunakan dalam praktik klinis sehari-hari. Optimasi pengobatan dan kepatuhan terhadap pedoman internasional dapat membantu mengurangi mortalitas terkait TBC serta meningkatkan keberhasilan pengobatan (Riccardi et al., 2021). Namun, pengobatan TBC resisten obat (DR-TB) tetap menantang karena durasi pengobatan yang panjang dan efek samping yang signifikan dari obat-obatan lini kedua (Alsayed dan Gunosewoyo, 2023).

Pasien yang selamat dari TBC sering mengalami penurunan kualitas hidup yang signifikan, termasuk kerugian ekonomi dan gangguan sosial. Beban post-TBC tidak sepenuhnya dipahami karena kurangnya data epidemiologis, terutama dari negara berpenghasilan rendah dan menengah. Namun, PTLD sendiri diperkirakan mempengaruhi sekitar 50% dari total beban penyakit TBC (Nightingale et al., 2023). Maka dari itu, perawatan pasca-TBC yang komprehensif menjadi prioritas lebih untuk meningkatkan kualitas hidup pasien.

Dalam beberapa tahun terakhir, penelitian terus berfokus pada pengembangan strategi pengobatan yang lebih efektif dan peningkatan kualitas hidup pasien pasca-TBC. Hal ini termasuk penggunaan obat-obatan baru dan peningkatan kepatuhan terhadap pedoman pengobatan internasional (Riccardi et al., 2021). Selain itu, perhatian juga diberikan pada komplikasi jangka panjang yang dapat timbul setelah pengobatan selesai, seperti PTLD dan gangguan neurologis (Nightingale et al., 2023).

Komplikasi TBC juga dapat berdampak pada fungsi fisik dan kapasitas olahraga pasien. Pasien sering mengalami penurunan kemampuan fisik dan kapasitas olahraga yang signifikan setelah pengobatan selesai, yang dapat mempengaruhi kemampuan mereka untuk kembali bekerja secara produktif (Nightingale et al., 2023). Maka dari itu, perawatan pasca-TBC yang komprehensif harus mencakup dukungan fisik dan psikologis untuk membantu pasien mengatasi tantangan ini.

Dalam konteks global, TBC tetap menjadi salah satu penyebab utama kematian akibat agen infeksi tunggal. Maka dari itu, upaya untuk mengoptimalkan pengobatan dan mencegah komplikasi TBC menjadi prioritas lebih. Hal ini termasuk peningkatan akses ke pengobatan yang efektif, peningkatan kesadaran akan komplikasi potensial, dan dukungan sistem kesehatan yang lebih baik untuk pasien TBC dan pasien pasca-TBC (Riccardi et al., 2021).

Pencegahan

Preventif dan pandangan kesehatan masyarakat terhadap TBC paru melibatkan strategi yang komprehensif untuk mencegah dan mengendalikan penyakit ini. Salah satu strategi utama adalah identifikasi dan penyelesaian pengobatan bagi pasien dengan TBC aktif untuk mencegah penularan lebih lanjut. Selain itu, penemuan dan skrining kontak pasien TBC menjadi prioritas lebih untuk mengetahui apakah mereka memiliki TBC aktif atau terinfeksi *Mycobacterium tuberculosis*. Skrining, pengujian, dan pengobatan populasi yang berisiko tinggi terhadap infeksi laten TBC (LTBI) juga merupakan langkah krusial karena LTBI dapat berkembang menjadi TBC aktif (Cole et al., 2020).

Dalam konteks kesehatan masyarakat, departemen kesehatan memainkan peran penting dalam mengembangkan dan melaksanakan program pencegahan dan pengendalian TBC. Mereka harus memastikan adanya rencana dan kebijakan yang jelas untuk pengendalian TBC, termasuk sistem surveilans yang efektif untuk pelaporan kasus TBC yang dicurigai atau dikonfirmasi. Pengumpulan dan analisis data secara teratur menjadi prioritas lebih untuk memahami tren dan pola penyebaran TBC, yang kemudian digunakan untuk perencanaan dan pencegahan (Cole et al., 2020).

Pengobatan profilaksis, seperti penggunaan isoniazid, telah terbukti sangat efektif dalam mencegah TBC. Dalam sebuah analisis meta, isoniazid menunjukkan penurunan risiko TBC sebesar 74% (Liyew et al., 2023). Vaksin BCG juga memiliki efek protektif sekitar 50% dalam mencegah TBC (Liyew et al., 2023). Maka dari itu, strategi pencegahan yang melibatkan pengobatan profilaksis dan vaksinasi menjadi prioritas lebih dalam upaya mengurangi insiden TBC.

Strategi lain yang penting adalah pengelolaan kelompok berisiko tinggi, termasuk mereka yang baru saja bermigrasi dari daerah dengan insiden TBC tinggi, orang yang mengalami kemiskinan, atau mereka yang memiliki masalah kesehatan lain seperti HIV/AIDS (Bansal et al., 2023). Mereka memerlukan skrining aktif TBC dan dukungan pengobatan yang intensif, termasuk terapi pengawasan langsung (DOT) untuk memastikan kepatuhan pengobatan (Cole et al., 2020).

Pengendalian infeksi juga menjadi komponen kunci dalam pencegahan penularan TBC. Tindakan administratif seperti identifikasi dini kasus yang dicurigai, isolasi cepat, dan pengobatan yang tepat menjadi prioritas lebih. Selain itu, kontrol lingkungan seperti ventilasi yang baik dan penggunaan filter udara partikulat tinggi dapat membantu mencegah penyebaran TBC di tempat-tempat umum.

Dalam beberapa tahun terakhir, perhatian juga diberikan pada strategi untuk mempercepat eliminasi TBC. Hal ini termasuk membuat LTBI sebagai kondisi yang dapat dilaporkan, serta memperluas penggunaan DOT tidak hanya untuk pasien TBC aktif tetapi juga untuk mereka dengan LTBI tertentu. Kerja sama dengan berbagai pihak, termasuk praktisi swasta dan organisasi masyarakat, menjadi prioritas lebih untuk memperluas skrining dan pengobatan LTBI (Cole et al., 2020).

Pendidikan dan pelatihan bagi staf program TBC, serta masyarakat umum, juga menjadi komponen penting dalam upaya pencegahan dan pengendalian TBC. Meningkatkan kesadaran masyarakat tentang TBC dapat membantu mengurangi stigma dan meningkatkan kepatuhan pengobatan. Selain itu, kolaborasi dengan berbagai lembaga kesehatan dan masyarakat sipil menjadi prioritas lebih untuk memastikan bahwa upaya pengendalian TBC mencapai semua kelompok masyarakat yang berisiko (Cole et al., 2020).

Dalam konteks eliminasi TBC, strategi yang lebih fokus pada kelompok berisiko tinggi dan pengelolaan wabah menjadi prioritas lebih. Identifikasi dan pengobatan kasus TBC aktif secara cepat, serta skrining kontak yang efektif, dapat membantu mengurangi penyebaran penyakit. Selain itu, memastikan akses yang memadai ke tes laboratorium dan radiologi yang direkomendasikan untuk TBC menjadi prioritas lebih dalam diagnosis dan pengobatan yang tepat.

Penggunaan teknologi, seperti catatan kesehatan elektronik dan telemedicine, dapat membantu memfasilitasi perawatan TBC dengan lebih efektif. Namun, perlu diingat bahwa perawatan TBC memerlukan pendekatan holistik yang melibatkan tidak hanya aspek medis tetapi juga dukungan sosial dan ekonomi bagi pasien dan keluarganya (Cole et al., 2020). Maka dari itu, keterlibatan berbagai pihak, termasuk organisasi masyarakat sipil dan lembaga kesehatan, menjadi prioritas lebih dalam upaya eliminasi TBC.

Dalam beberapa tahun terakhir, penelitian juga menunjukkan bahwa intervensi pencegahan yang berbeda memiliki tingkat efektivitas yang beragam dalam mengurangi insiden TBC. Misalnya, terapi profilaksis dengan isoniazid menunjukkan efektivitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan vaksinasi BCG (Liyew et al., 2023). Maka dari itu, strategi pencegahan harus disesuaikan dengan kebutuhan dan sumber daya yang tersedia di setiap wilayah. Dengan demikian, upaya pencegahan dan pengendalian TBC dapat menjadi lebih efektif dan efisien dalam mencapai tujuan eliminasi TBC.

KESIMPULAN

Tuberkulosis paru (TBC) merupakan penyakit infeksi bakteri yang disebabkan oleh *Mycobacterium tuberculosis*, yang menyebar melalui rute pernapasan antar manusia. Penyakit ini dapat menyebabkan komplikasi sistemik, termasuk hiponatremia dan intoleransi glukosa. Sebagian besar individu yang terinfeksi *M. tuberculosis* berada dalam kondisi laten, di mana bakteri tetap hidup dalam tubuh tanpa menimbulkan gejala, dan hanya sekitar 10% dari mereka yang akan mengalami TBC aktif seumur hidupnya.

TBC aktif dapat menyebabkan kerusakan paru-paru yang signifikan, termasuk pembentukan kavitas dan empiema, serta berpotensi meningkatkan risiko kanker paru-paru. Faktor-faktor seperti infeksi HIV, malnutrisi, dan penggunaan alkohol berlebihan dapat memicu peralihan dari TBC laten ke aktif. Dalam beberapa tahun terakhir, penelitian menunjukkan bahwa penting untuk meningkatkan kemungkinan keberhasilan pengobatan TBC.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah berkontribusi dalam penyusunan artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Adefuye, M.A., Manjunatha, N., Ganduri, V., Rajasekaran, K., Duraiyarasan, S. dan Adefuye, B.O. (2022) "Tuberculosis and Cardiovascular Complications: An Overview.," *Cureus*, 14(8), hal. e28268. Tersedia pada: <https://doi.org/10.7759/cureus.28268>.
- Alsayed, S.S.R. dan Gunosewoyo, H. (2023) "Tuberculosis: Pathogenesis, Current Treatment Regimens and New Drug Targets.," *International journal of molecular sciences*, 24(6). Tersedia pada: <https://doi.org/10.3390/ijms24065202>.
- Bansal, A., Yanamaladoddi, V.R., Sarvepalli, S.S., Vemula, S.L., Aramadaka, S., Mannam, R. dan Sankara Narayanan, R. (2023) "Surviving Pulmonary Tuberculosis: Navigating the Long Term Respiratory Effects.," *Cureus*, 15(5), hal. e38811. Tersedia pada: <https://doi.org/10.7759/cureus.38811>.
- Bartolomeu-Gonçalves, G., Souza, J.M. de, Fernandes, B.T., Spoladori, L.F.A., Correia, G.F., Castro, I.M. de, Borges, P.H.G., Silva-Rodrigues, G., Tavares, E.R., Yamauchi, L.M., Pelisson, M., Perugini, M.R.E. dan Yamada-Ogatta, S.F. (2024) "Tuberculosis Diagnosis: Current, Ongoing, and Future Approaches.," *Diseases (Basel, Switzerland)*, 12(9). Tersedia pada: <https://doi.org/10.3390/diseases12090202>.
- Cole, B., Nilsen, D.M., Will, L., Etkind, S.C., Burgos, M. dan Chorba, T. (2020) "Essential Components of a Public Health Tuberculosis Prevention, Control, and Elimination Program: Recommendations of the Advisory Council for the Elimination of Tuberculosis and the National Tuberculosis Controllers Association.," *MMWR. Recommendations and reports: Morbidity and mortality weekly report. Recommendations and reports*, 69(7), hal. 1–27. Tersedia pada: <https://doi.org/10.15585/mmwr.rr6907a1>.
- Coussens, A.K., Zaidi, S.M.A., Allwood, B.W., Dewan, P.K., Gray, G., Kohli, M., Kredo, T., Marais, B.J., Marks, G.B., Martinez, L., Ruhwald, M., Scriba, T.J., Seddon, J.A., Tisile, P., Warner, D.F., Wilkinson, R.J., Esmail, H. dan Houben, R.M.G.J. (2024) "Classification of early tuberculosis states to guide research for improved care and prevention: an international Delphi consensus exercise.," *The Lancet. Respiratory medicine*, 12(6), hal. 484–498. Tersedia pada: [https://doi.org/10.1016/S2213-2600\(24\)00028-6](https://doi.org/10.1016/S2213-2600(24)00028-6).
- Gill, C.M., Dolan, L., Piggott, L.M. dan McLaughlin, A.M. (2022) "New developments in tuberculosis diagnosis and treatment.," *Breathe (Sheffield, England)*, 18(1), hal. 210149. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1183/20734735.0149-2021>.
- Happyanto, M.R., Ivone, J., Nurazizah, S., Studi, P., Dokter, P., Kedokteran, F., Kristen, U., Ilmu, B., Masyarakat, K., Kedokteran, F. dan Kristen, U. (2024) "Gambaran Faktor Risiko dan Komorbiditas pada Pasien TB Paru di Puskesmas Sukatani Periode 2020-2023 An Overview of Risk Factors and Comorbidities Patients of Lung Tuberculosis at Sukatani Public Health Center Purwakarta Regency Period 2020-2023," 6(2), hal. 22–30.
- Pedoman Nasional Pelayanan Kedokteran Tatalaksana Tuberkulosis. Jakarta: Kementerian Kesehatan Republik Indonesia; 2020.
- Huang, Y., Ai, L., Wang, X., Sun, Z. dan Wang, F. (2022) "Review and Updates on the Diagnosis of Tuberculosis.," *Journal of clinical medicine*, 11(19). Tersedia pada: <https://doi.org/10.3390/jcm11195826>.
- Kang, W., Yu, J., Liang, C., Wang, Q., Li, L., Du, J., Chen, H., Liu, J., Ma, J., Li, M., Qin, J., Shu, W., Zong, P., Zhang, Yi, Yan, X., Yang, Z., Mei, Z., Deng, Q., Wang, P., Han, W., Wu, M., Chen, L., Zhao, X., Tan, L., Li, F., Zheng, C., Liu, H., Li, X., A, E., Du, Y., Liu, F., Cui, W., Yang, S., Chen, X., Han, J., Xie, Q., Feng, Y., Liu, W., Tang, P., Zhang, Jianyong, Zheng, J., Chen, D., Yao, X., Ren, T., Li, Yan, Li, Yuanyuan, Wu,

- L., Song, Q., Yang, M., Zhang, Jian, Liu, Y., Guo, S., Yan, K., Shen, X., Lei, D., Zhang, Yanli, Li, Youcai, Dong, Y. dan Tang, S. (2023) "Epidemiology and Association Rules Analysis for Pulmonary Tuberculosis Cases with Extrapulmonary Tuberculosis from Age and Gender Perspective: A Large-Scale Retrospective Multicenter Observational Study in China.," *International journal of clinical practice*, 2023, hal. 5562495. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1155/2023/5562495>.
- Kayongo, A., Nyiro, B., Siddharthan, T., Kirenga, B., Checkley, W., Lutaakome Joloba, M., Ellner, J. dan Salgame, P. (2023) "Mechanisms of lung damage in tuberculosis: implications for chronic obstructive pulmonary disease.," *Frontiers in cellular and infection microbiology*, 13, hal. 1146571. Tersedia pada: <https://doi.org/10.3389/fcimb.2023.1146571>.
- Liyew, A.M., Gilmour, B., Clements, A.C.A. dan Alene, K.A. (2023) "Comparative effectiveness of interventions for preventing tuberculosis: systematic review and network meta-analysis of interventional studies.," *EClinicalMedicine*, 64, hal. 102209. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1016/j.eclinm.2023.102209>.
- Luczynski, P., Poulin, P., Romanowski, K. dan Johnston, J.C. (2022) "Tuberculosis and risk of cancer: A systematic review and meta-analysis.," *PloS one*, 17(12), hal. e0278661. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0278661>.
- Luies, L. dan du Preez, I. (2020) "The Echo of Pulmonary Tuberculosis: Mechanisms of Clinical Symptoms and Other Disease-Induced Systemic Complications.," *Clinical microbiology reviews*, 33(4). Tersedia pada: <https://doi.org/10.1128/CMR.00036-20>.
- Maison, D.P. (2022) "Tuberculosis pathophysiology and anti-VEGF intervention.," *Journal of clinical tuberculosis and other mycobacterial diseases*, 27, hal. 100300. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1016/j.jctube.2022.100300>.
- Marais, S., Cresswell, F. V., Hamers, R.L., Te Brake, L.H.M., Ganiem, A.R., Imran, D., Bangdiwala, A., Martyn, E., Kasibante, J., Kagimu, E., Musubire, A., Maharani, K., Estiasari, R., Kusumaningrum, A., Kusumadjayanti, N., Yunivita, V., Naidoo, K., Lessells, R., Moosa, Y., Svensson, E.M., Huppler Hullsiek, K., Aarnoutse, R.E., Boulware, D.R., van Crevel, R., Ruslami, R. dan Meya, D.B. (2019) "High dose oral rifampicin to improve survival from adult tuberculous meningitis: A randomised placebo-controlled double-blinded phase III trial (the HARVEST study).," *Wellcome open research*, 4, hal. 190. Tersedia pada: <https://doi.org/10.12688/wellcomeopenres.15565.2>.
- Nightingale, R., Carlin, F., Meghji, J., McMullen, K., Evans, D., van der Zalm, M.M., Anthony, M.G., Bittencourt, M., Byrne, A., du Preez, K., Coetsee, M., Feris, C., Goussard, P., Hirasen, K., Bouwer, J., Hoddinott, G., Huaman, M.A., Inglis-Jassiem, G., Ivanova, O., Karmadwala, F., Schaaf, H.S., Schoeman, I., Seddon, J.A., Sineke, T., Solomons, R., Thiart, M., van Toorn, R., Fujiwara, P.I., Romanowski, K., Marais, S., Hesseling, A.C., Johnston, J., Allwood, B., Muhwa, J.C. dan Mortimer, K. (2023) "Post-TB health and wellbeing.," *The international journal of tuberculosis and lung disease : the official journal of the International Union against Tuberculosis and Lung Disease*, 27(4), hal. 248–283. Tersedia pada: <https://doi.org/10.5588/ijtld.22.0514>.
- Nogueira, B.M.F., Krishnan, S., Barreto-Duarte, B., Araújo-Pereira, M., Queiroz, A.T.L., Ellner, J.J., Salgame, P., Scriba, T.J., Sterling, T.R., Gupta, A. dan Andrade, B.B. (2022) "Diagnostic biomarkers for active tuberculosis: progress and challenges.," *EMBO molecular medicine*, 14(12), hal. e14088. Tersedia pada: <https://doi.org/10.15252/emmm.202114088>.
- Oo, N. dan Agrawal, D.K. (2025) "Epidemiology, Pathogenesis, Clinical Manifestations, and Management Strategies of Tuberculous Meningitis.," *Archives of internal medicine research*, 8(1), hal. 48–58. Tersedia pada: <https://doi.org/10.26502/aimr.0195>.

- Prasanna, A. dan Niranjana, V. (2019) "Classification of Mycobacterium tuberculosis DR, MDR, XDR Isolates and Identification of Signature Mutation Pattern of Drug Resistance.," *Bioinformatics*, 15(4), hal. 261–268. Tersedia pada: <https://doi.org/10.6026/97320630015261>.
- Riccardi, N., Canetti, D., Rodari, P., Besozzi, G., Sadari, L., Dettori, M., Codecasa, L.R. dan Sotgiu, G. (2021) "Tuberculosis and pharmacological interactions: A narrative review.," *Current research in pharmacology and drug discovery*, 2, hal. 100007. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1016/j.crphar.2020.100007>.
- Rolo, M., González-Blanco, B., Reyes, C.A., Rosillo, N. dan López-Roa, P. (2023) "Epidemiology and factors associated with Extra-pulmonary tuberculosis in a Low-prevalence area.," *Journal of clinical tuberculosis and other mycobacterial diseases*, 32, hal. 100377. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1016/j.jctube.2023.100377>.
- Saukkonen, J.J., Duarte, R., Munsiff, S.S., Winston, C.A., Mammen, M.J., Abubakar, I., Acuña-Villaorduña, C., Barry, P.M., Bastos, M.L., Carr, W., Chami, H., Chen, L.L., Chorba, T., Daley, C.L., Garcia-Prats, A.J., Holland, K., Konstantinidis, I., Lipman, M., Battista Migliori, G., Parvez, F.M., Shapiro, A.E., Sotgiu, G., Starke, J.R., Starks, A.M., Thakore, S., Wang, S.-H., Wortham, J.M. dan Nahid, P. (2025) "Updates on the Treatment of Drug-Susceptible and Drug-Resistant Tuberculosis: An Official ATS/CDC/ERS/IDSA Clinical Practice Guideline.," *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, hal. 15–33. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1164/rccm.202410-2096ST>.
- Sazali, M.F., Rahim, S.S.S.A., Mohammad, A.H., Kadir, F., Payus, A.O., Avoi, R., Jeffree, M.S., Omar, A., Ibrahim, M.Y., Atil, A., Tuah, N.M., Dapari, R., Lansing, M.G., Rahim, A.A.A. dan Azhar, Z.I. (2023) "Improving Tuberculosis Medication Adherence: The Potential of Integrating Digital Technology and Health Belief Model.," *Tuberculosis and respiratory diseases*, 86(2), hal. 82–93. Tersedia pada: <https://doi.org/10.4046/trd.2022.0148>.
- Singh, S.K. dan Tiwari, K.K. (2019) "Analysis of clinical and radiological features of tuberculosis associated pneumothorax.," *The Indian journal of tuberculosis*, 66(1), hal. 34–38. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1016/j.ijtb.2017.01.009>.
- Tong, X., Wang, D., Wang, H., Liao, Y., Song, Y., Li, Yuanchun, Zhang, Y., Fan, G., Zhong, X., Ju, Y. dan Li, Yanming (2021) "Clinical features in pulmonary tuberculosis patients combined with diabetes mellitus in China: An observational study.," *The clinical respiratory journal*, 15(9), hal. 1012–1018. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1111/crj.13405>.
- Wei, M., Zhao, Y., Qian, Z., Yang, B., Xi, J., Wei, J. dan Tang, B. (2020) "Pneumonia caused by Mycobacterium tuberculosis.," *Microbes and infection*, 22(6–7), hal. 278–284. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1016/j.micinf.2020.05.020>.
- Yang, J., Zhang, L., Qiao, W. dan Luo, Y. (2023) "Mycobacterium tuberculosis: Pathogenesis and therapeutic targets.," *MedComm*, 4(5), hal. e353. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1002/mco2.353>.
- Yayan, J., Franke, K.-J., Berger, M., Windisch, W. dan Rasche, K. (2024) "Early detection of tuberculosis: a systematic review.," *Pneumonia (Nathan Qld.)*, 16(1), hal. 11. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1186/s41479-024-00133-z>.
- Zhu, Q.-Q., Wu, Q., Wang, A.-M., Bao, F.-J., Zhang, Y.-Z., Liu, J., Yan, J.-W., Fang, X.-H., Li, L., Zhang, Z.-K., Wang, R., Bao, X.-D., Yao, S. dan Pan, H.-F. (2020) "Epidemiological characteristics of pulmonary tuberculosis in Anhui Province, Eastern China from 2013 to 2018.," *PloS one*, 15(8), hal. e0237311. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0237311>.
- Zhuang, L., Yang, L., Li, L., Ye, Z. dan Gong, W. (2024) "Mycobacterium tuberculosis: immune response, biomarkers, and therapeutic intervention.," *MedComm*, 5(1), hal. e419. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1002/mco2.419>.