

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Tuberkulosis Paru

Tuberkulosis merupakan penyakit menular kronis yang disebabkan oleh bakteri *Mycobacterium tuberculosis*. Bakteri ini berbentuk batang dan memiliki sifat tahan terhadap pewarnaan asam, sehingga dikenal sebagai Basil Tahan Asam (BTA). Umumnya, bakteri TB menyerang jaringan paru (parenkim paru) dan menyebabkan TB. Namun, dalam beberapa kasus, infeksi juga dapat terjadi di luar paru (TB ekstra paru), mencakup organ-organ seperti pleura, kelenjar getah bening, tulang, dan organ tubuh lainnya. TB masih menjadi masalah kesehatan masyarakat yang serius karena tingkat penularannya yang tinggi dan potensi dampaknya terhadap berbagai organ tubuh, baik paru maupun organ lain di luar paru (Kemenkes, 2020).

Mycobacterium tuberculosis dapat menular ketika penderita tuberkulosis paru BTA positif berbicara, bersin, dan batuk yang secara tidak langsung mengeluarkan *droplet nuklei* yang mengandung mikroorganisme *Mycobacterium tuberculosis* dan terjatuh ke lantai, tanah, atau tempat lainnya. Paparan sinar matahari atau suhu udara yang panas mengenai *droplet nuklei* tersebut dapat menguap. Menguapnya *droplet* bakteri ke udara dibantu dengan pergerakan aliran angin yang menyebabkan bakteri *Mycobacterium tuberculosis* yang terkandung di dalam *droplet nucleii* terbang melayang mengikuti aliran udara. Apabila bakteri tersebut terhirup oleh orang sehat, maka orang itu berpotensi terinfeksi bakteri (Kemenkes, 2020).

Mycobacterium tuberculosis adalah bakteri tahan asam, *aerob obligat*, dengan waktu generasi lambat sekitar 18-24 jam. Pertumbuhan bakteri ini pada

media kultur biasanya baru dapat diamati setelah 6-8 minggu. Faktor virulensi seperti protein ESAT-6 dan sistem sekresi ESX memainkan peran penting dalam kemampuan bakteri menghindari respons imun dan bertahan hidup intraseluler (Smith *et al.*, 2025).

Studi yang dilakukan oleh Verma *et al.* (2022) mengungkapkan bahwa *Mycobacterium tuberculosis* dapat bertahan dalam *droplet nuclei* hingga enam jam pada kondisi ventilasi kurang dari 5 ACH, dengan tingkat viabilitas tertinggi pada kelembaban relatif sebesar 70–80%. Temuan ini menjelaskan mengapa lingkungan tertutup menjadi episentrum penularan, sebagaimana dibuktikan dalam penelitian lapangan Sulidah *et al.*, (2023) di Indonesia yang menemukan konsentrasi CO₂ 800 ppm lebih tinggi pada rumah penderita TB dibanding kontrol ($p < 0.001$). Mekanisme patogenesis intraseluler dijelaskan oleh Kumar *et al.*, (2024) melalui kemampuan Mtb mengaktivasi faktor nuklear- κ B (NF- κ B) sehingga menghambat apoptosis makrofag, sementara sistem sekresi ESX-1 (Chen *et al.*, 2024) memfasilitasi transfer material genetik antar bakteri untuk meningkatkan resistensi.

2.2 Epidemiologi

a. Global

Pada tahun 2023, diperkirakan terdapat 10,8 juta kasus baru tuberculosis di seluruh dunia dengan 1,25 juta kematian akibat TB. Sebagian besar kasus (87%) berasal dari 30 negara dengan beban tinggi, termasuk Indonesia yang menempati posisi kedua setelah India. Meskipun tingkat keberhasilan pengobatan TB sensitif obat tetap tinggi (88%), pengobatan TB resistan obat masih menjadi tantangan dengan tingkat keberhasilan hanya 68%. Insidensi TB global meningkat 4,6% sejak 2020 akibat dampak pandemi COVID-19. Strategi 'End TB' yang dicanangkan oleh WHO menargetkan penurunan angka kematian sebesar 75% dan insidensi sebesar

50% pada tahun 2025. Namun, hingga 2023, penurunan baru mencapai 23% untuk kematian dan 8,3% untuk insidensi (WHO, 2024).

b. Nasional

Indonesia masih berada di posisi kedua dunia dengan estimasi 1.060.000 kasus baru tuberculosis dan 134.000 kematian akibat TB pada tahun 2023. Notifikasi kasus TB yang dilaporkan mencapai 821.200 dengan cakupan pengobatan TB sensitif obat sebesar 88% dan TB resistan obat sebesar 73%. Pemerintah menargetkan eliminasi TB pada 2030 melalui berbagai strategi, namun cakupan terapi pencegahan TB kontak serumah masih rendah, yaitu 2,6% dari target 50% (WHO, 2024).

2.3 Klasifikasi TB Paru

Menurut Kementerian Kesehatan Republik Indonesia (2020) Diagnosis TB dengan konfirmasi bakteriologis atau klinis dapat diklasifikasikan berdasarkan lokasi anatomis dan kepekaan terhadap Obat Anti Tuberkulosis (OAT):

1. Klasifikasi berdasarkan lokasi anatomis
 - a. TB paru adalah kasus TB yang melibatkan parenkim paru atau trakeobronkial. TB milier diklasifikasikan sebagai TB paru karena terdapat lesi di paru. Pasien yang mengalami TB paru dan ekstra paru harus diklasifikasikan sebagai kasus TB paru.
 - b. TB ekstra paru adalah kasus TB yang melibatkan organ di luar parenkim paru seperti pleura, kelenjar getah bening, abdomen, saluran genitorurinaria, kulit, sendi dan tulang, selaput otak. Kasus TB ekstra paru dapat ditegakkan secara klinis atau histologis setelah diupayakan semaksimal mungkin dengan konfirmasi bakteriologis.

2. Klasifikasi berdasarkan kepekaan terhadap Obat Anti Tuberkulosis (OAT):
 - a. *Monoresisten* (TB-MR): TB yang menunjukkan resistensi terhadap satu jenis OAT lini pertama.
 - b. *Poliresisten* (TB-PR): TB yang menunjukkan resistensi terhadap lebih dari satu jenis OAT lini pertama, namun tidak terhadap isoniazid (H) dan rifampisin (R) secara bersamaan.
 - c. *Multidrug-Resistant Tuberculosis* (TB-MDR): Merupakan bentuk TB yang resisten minimal terhadap dua jenis OAT lini pertama, yaitu isoniazid (H) dan rifampisin (R) secara bersamaan.
 - d. *Extensively Drug-Resistant Tuberculosis* (TB-XDR): Merupakan bentuk lanjutan dari TB-MDR yang juga menunjukkan resistensi terhadap setidaknya satu jenis obat golongan fluorokuinolon, serta salah satu obat suntik lini kedua seperti kanamisin, kapreomisin, atau amikasin.
 - e. *Rifampisin-Resistant Tuberculosis* (TB-RR): TB yang terbukti resisten terhadap rifampisin, baik melalui pemeriksaan genotip (tes cepat molekuler) maupun fenotip (konvensional), dengan atau tanpa resistensi terhadap OAT lainnya. Kategori ini mencakup seluruh bentuk TB MR, PR, MDR, dan XDR yang memiliki resistensi terhadap rifampisin.

Penelitian terbaru oleh Dheda *et al.*, (2023) menekankan pentingnya klasifikasi ini dalam pengelolaan TB, karena pemahaman yang tepat mengenai jenis dan resistensi TB dapat mempengaruhi strategi pengobatan dan pencegahan.

2.4 Faktor-Faktor Risiko TB

Penularan tuberkulosis melibatkan berbagai faktor yang saling terkait, baik faktor individu maupun faktor lingkungan. Penyakit ini menyebar melalui *droplet* udara yang mengandung *Mycobacterium tuberculosis*, dan banyak faktor yang mempengaruhi kemungkinan penularannya. Di bawah ini dijelaskan lebih rinci

mengenai faktor-faktor yang meningkatkan risiko penularan TB, berdasarkan hasil-hasil penelitian ilmiah terkini.

a. Komorbid (Penyakit Penyerta)

Komorbid atau penyakit penyerta berperan signifikan dalam meningkatkan kerentanannya terhadap TB. Beberapa penyakit seperti HIV/AIDS, diabetes melitus, malnutrisi, dan gagal ginjal dapat melemahkan sistem imun tubuh, sehingga individu lebih rentan terhadap infeksi *Mycobacterium tuberculosis*. Penyakit seperti HIV sangat meningkatkan risiko reaktivasi TB laten menjadi TB aktif. Verma *et al.*, (2022) dalam penelitiannya menunjukkan bahwa pasien HIV lebih cenderung tertular TB aktif jika terpapar dengan bakteri TB, karena sistem kekebalan tubuh mereka sudah terganggu oleh infeksi virus HIV. Selain itu, diabetes melitus juga menjadi faktor risiko yang besar. Penelitian oleh Kumar *et al.*, (2023) mengungkapkan bahwa individu dengan diabetes melitus lebih mungkin tertular bentuk TB yang lebih parah, karena kadar glukosa yang tinggi dapat melemahkan respons imun tubuh terhadap infeksi.

Malnutrisi, terutama kekurangan gizi yang berkepanjangan, juga berperan dalam melemahkan daya tahan tubuh terhadap infeksi. Li *et al.*, (2021) menunjukkan bahwa malnutrisi meningkatkan risiko terjadinya TB Paru yang lebih berat, serta memperburuk prognosis pemulihan pasien TB. Gagal ginjal juga meningkatkan risiko penularan dan memperburuk penyakit TB, karena ginjal yang tidak berfungsi dengan baik mengganggu sistem imun tubuh, menjadikannya lebih rentan terhadap infeksi.

b. Umur

Usia menjadi faktor penting dalam penularan TB, dengan kelompok usia lanjut (lansia) cenderung lebih rentan terhadap TB. Penurunan daya tahan tubuh seiring bertambahnya usia membuat individu lebih mudah terinfeksi bakteri

Mycobacterium tuberculosis. Di Indonesia, Kemenkes RI (2020) mencatat bahwa kelompok usia 45–54 tahun adalah yang paling banyak terinfeksi TB. Secara global, kelompok usia 25–34 tahun adalah yang paling banyak ditemukan menderita TB, dengan prevalensi lebih tinggi di negara berkembang. Kharwadkar *et al.*, (2022) menemukan bahwa lansia memiliki risiko lebih tinggi untuk tertular TB, terutama karena menurunnya fungsi sistem imun mereka seiring bertambahnya usia. Penurunan sistem kekebalan tubuh ini mengurangi kemampuan tubuh untuk melawan infeksi, sehingga meningkatkan risiko infeksi *Mycobacterium tuberculosis*.

c. Jenis Kelamin

Jenis kelamin menjadi faktor risiko yang penting dalam TB. Secara global, laki-laki lebih sering terinfeksi TB dibandingkan dengan perempuan. Fatoumatta Darboe *et al.*, (2024) mengungkapkan bahwa lebih dari 70% kasus TB ditemukan pada laki-laki, terutama karena mereka lebih cenderung memiliki kebiasaan merokok, yang berhubungan langsung dengan peningkatan risiko terkena TB. Laki-laki yang merokok juga memiliki risiko lebih tinggi untuk tertular TB karena asap rokok merusak daya tahan paru terhadap bakteri TB. Penelitian oleh Jannah *et al.*, (2023) juga menunjukkan bahwa kebiasaan merokok pada laki-laki mengarah pada peningkatan prevalensi TB pada kelompok ini.

d. Kebiasaan Merokok

Merokok adalah salah satu faktor yang memperburuk kesehatan paru-paru dan mempermudah penularan TB. Pralambang dan Setiawan (2021) menemukan bahwa individu yang merokok memiliki risiko 2,4 kali lebih besar untuk terkena TB dibandingkan dengan non-perokok. Hal ini terjadi karena asap rokok merusak jaringan paru-paru, melemahkan sistem imun tubuh, dan memperburuk kualitas udara di sekitar individu yang merokok. Jannah *et al.*, (2023) juga menunjukkan

bahwa perokok pasif, atau mereka yang terpapar asap rokok meski tidak merokok langsung, juga memiliki risiko lebih tinggi untuk terinfeksi TB. Sulidah *et al.*, (2023) menambahkan bahwa perokok pasif yang terpapar polusi udara dan asap rokok cenderung mengalami penurunan fungsi paru-paru yang membuat mereka lebih rentan terhadap infeksi *Mycobacterium tuberculosis*.

e. Lingkungan Rumah

Lingkungan rumah yang tidak sehat berperan besar dalam penularan TB Paru. Rumah yang gelap, lembab, dengan ventilasi yang buruk menjadi tempat ideal bagi bakteri TB untuk bertahan hidup dan menyebar. Li *et al.*, (2021) menunjukkan bahwa rumah yang gelap dan lembab menciptakan kondisi yang mendukung bertahannya bakteri *Mycobacterium tuberculosis*. Ventilasi yang buruk memungkinkan *droplet* infeksius untuk mengendap di udara, memperburuk risiko penularan. Penelitian oleh Kharwadkar *et al.*, (2022) juga mengungkapkan bahwa rumah yang memiliki sirkulasi udara yang buruk meningkatkan konsentrasi kuman di dalam rumah, menciptakan risiko penularan yang lebih besar di antara penghuni rumah.

Faktor lingkungan lain seperti kelembaban yang tidak terkontrol dan pencahayaan yang kurang juga berperan penting dalam meningkatkan risiko penularan TB. Jannah *et al.* (2023) mengungkapkan bahwa pencahayaan alami dapat membantu membunuh *Mycobacterium tuberculosis*, dan rumah dengan pencahayaan yang cukup terbukti memiliki risiko lebih rendah terhadap infeksi TB. Desain rumah yang baik dengan ventilasi memadai dan pencahayaan alami menjadi aspek penting dalam pencegahan penularan TB.

f. Kontak dengan Penderita

Kontak langsung dengan penderita TB aktif, terutama yang tinggal serumah, meningkatkan risiko penularan. Reichler *et al.*, (2020) menunjukkan bahwa tinggal

serumah dengan penderita TB aktif meningkatkan kemungkinan terinfeksi hingga empat kali lipat. Satu penderita TB yang tinggal dalam satu rumah dengan dua hingga tiga orang lain dapat menularkan penyakit tersebut dengan cepat. Penelitian oleh Davis *et al.*, (2021) juga menemukan bahwa durasi paparan yang lama terhadap penderita TB aktif, seperti yang terjadi di rumah tangga dengan beberapa penderita, berisiko lebih tinggi menyebabkan penularan. Pencegahan penularan di lingkungan rumah tangga yang terjangkit TB perlu mendapat perhatian serius, termasuk edukasi mengenai langkah-langkah pencegahan seperti penggunaan masker dan pengaturan ventilasi yang baik di dalam rumah.

g. Status Gizi

Status gizi yang buruk, terutama kekurangan energi dan protein, meningkatkan risiko berkembangnya TB Paru yang lebih berat. Kemenkes RI (2023) menjelaskan bahwa kekurangan gizi mempengaruhi daya tahan tubuh dan kemampuan tubuh untuk melawan infeksi. Kharwadkar *et al.*, (2022) menunjukkan bahwa kekurangan gizi mengurangi fungsi imun tubuh, yang membuat individu lebih rentan terhadap infeksi *Mycobacterium tuberculosis*. Penelitian oleh Li *et al.*, (2021) juga menemukan bahwa pasien TB yang kekurangan gizi cenderung lebih lama sembuh dan seringkali mengalami penurunan status gizi yang lebih cepat. Menciptakan lingkungan yang mendukung pemenuhan gizi yang cukup merupakan hal yang sangat penting dalam upaya pencegahan perkembangan TB.

2.5 Patofisiologi

Tuberkulosis paru merupakan penyakit infeksi menular yang disebabkan oleh bakteri *Mycobacterium tuberculosis*. Penularannya terjadi melalui *droplet* yang terbawa udara saat penderita TB aktif batuk, bersin, atau berbicara. Setelah terhirup, kuman TB akan masuk ke saluran pernapasan dan mencapai alveoli paru. Di sana, bakteri akan difagositosis oleh makrofag, tetapi karena memiliki kemampuan

bertahan terhadap penghancuran intraseluler, bakteri ini dapat berkembang biak di dalam sel fagosit tersebut. Tubuh kemudian merespons dengan membentuk granuloma, yaitu kumpulan sel imun seperti makrofag dan limfosit, yang berfungsi untuk membatasi penyebaran infeksi. Granuloma ini bisa mengalami nekrosis kaseosa di bagian tengahnya dan menjadi ciri khas TB pada jaringan paru.

Pada sebagian besar individu, infeksi ini tidak langsung menimbulkan gejala dan masuk ke fase laten, yaitu kondisi saat bakteri tetap berada di dalam tubuh namun tidak aktif. WHO (2024) menyatakan bahwa sekitar 5–10% penderita TB laten dapat mengalami aktivasi kembali (*reaktivasi*) menjadi TB aktif sepanjang hidup mereka, terutama jika terjadi penurunan sistem imun, misalnya akibat HIV/AIDS, diabetes, atau malnutrisi. Penelitian yang dilakukan oleh Dheda *et al.* (2023) menunjukkan bahwa individu dengan kondisi komorbid seperti HIV memiliki risiko yang jauh lebih tinggi untuk mengalami reaktivasi TB, yang dapat memperburuk prognosis kesehatan. Pada fase aktif, bakteri berkembang biak dengan cepat dan menyebabkan kerusakan jaringan paru, yang ditandai dengan gejala khas seperti batuk berdahak kronis selama dua minggu atau lebih, demam, keringat malam, penurunan berat badan, serta batuk darah (*hemoptisis*) pada beberapa kasus.

Kementerian Kesehatan RI (2020) juga menegaskan bahwa TB merupakan bentuk TB yang paling sering terjadi dan paling menular dibandingkan bentuk TB lainnya. Selain menyerang paru-paru, *Mycobacterium tuberculosis* juga dapat menyebar ke organ lain di luar paru (TB ekstra paru), seperti kelenjar getah bening, pleura, tulang, dan sistem saraf pusat. Penelitian oleh Kharwadkar *et al.*, (2022) menyoroti bahwa TB ekstra paru sering kali lebih sulit didiagnosis dan memerlukan pendekatan pengobatan yang berbeda. Deteksi dini dan pengobatan yang tepat

memegang peranan penting dalam mencegah penularan lebih lanjut serta menurunkan angka kesakitan dan kematian akibat TB di Indonesia.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Li et al. (2021), faktor lingkungan seperti kondisi tempat tinggal yang tidak sehat memiliki peran dalam meningkatkan risiko terjadinya tuberkulosis. Hal ini menunjukkan pentingnya mempertimbangkan aspek lingkungan dalam strategi pencegahan dan pengendalian TB.

2.6 Patogenesis TB dan Transmisi TB

2.6.1 Patogenesis TB

Setelah terhirup, partikel halus yang mengandung basil tuberkulosis akan masuk ke saluran napas dan menetap di bronkiolus respiratorik atau alveolus. Di lokasi ini, partikel tersebut akan ditelan oleh makrofag alveolus yang kemudian memicu respons imun nonspesifik terhadap bakteri. Terjadinya infeksi tergantung pada tingkat keganasan bakteri serta kemampuan makrofag alveolus dalam membunuhnya. Jika bakteri mampu bertahan dari mekanisme pertahanan awal tersebut, ia akan berkembang biak di dalam makrofag. *Mycobacterium tuberculosis* berkembang secara perlahan, membelah diri setiap 23 hingga 32 jam. *Mycobacterium tuberculosis* tidak menghasilkan endotoksin maupun eksotoksin, sehingga tidak langsung menimbulkan respons imun dari tubuh. Dalam waktu sekitar 2 hingga 12 minggu, jumlah bakteri dapat meningkat menjadi sekitar 1.000 hingga 10.000, cukup untuk memicu respons imun seluler yang bisa terdeteksi melalui uji tuberkulin.

Saat respons imun spesifik tubuh belum terbentuk, basil tuberkulosis dapat menyebar ke kelenjar getah bening hilus melalui sistem limfatik, lalu masuk ke aliran darah dan menyebar ke berbagai organ. Beberapa jaringan memiliki ketahanan terhadap pertumbuhan bakteri, namun sumsum tulang, hati, dan limpa

seringkali menjadi tempat infeksi. Bakteri juga dapat mengendap di puncak paru-paru, ginjal, tulang, dan otak organ yang kondisinya mendukung pertumbuhan *Mycobacterium tuberculosis*.

Dalam beberapa kasus, dapat berkembang cepat sebelum sistem imun seluler spesifik terbentuk untuk mengendalikannya.

a. TB Primer

Infeksi TB primer terjadi saat pertama kali terpapar *Mycobacterium tuberculosis*. Basilus yang terhirup menetap di alveolus dan difagositosis makrofag, namun dapat berkembang biak di dalamnya karena kemampuan menghambat mekanisme *bakterisidal makrofag*. Fokus infeksi ini membentuk *Ghon focus* dan menyebar ke kelenjar getah bening hilus membentuk *kompleks primer Ghon* dengan gambaran nekrosis kaseosa. Respons imun seluler berkembang dalam 4–6 minggu, menghasilkan uji tuberkulin positif. Jika imun tidak cukup kuat, basilus dapat menyebar ke seluruh tubuh dan menyebabkan TB aktif. Infeksi primer biasanya tanpa gejala (Kementerian Kesehatan RI, 2020).

b. TB Pasca Primer

TB pasca primer terjadi pada orang yang sebelumnya sudah pernah terinfeksi *Mycobacterium tuberculosis*, setelah masa laten beberapa bulan hingga tahun. Penyebabnya bisa reaktivasi basil dorman di jaringan atau reinfeksi dari paparan baru. Reaktivasi sering terjadi saat sistem imun melemah, misalnya pada penderita HIV. TB pasca primer biasanya menyerang parenkim paru, terutama lobus superior, dengan ciri adanya kavitas dan kerusakan paru yang luas. Pada foto toraks dapat ditemukan infiltrat dan limfadenopati intratorakal, meskipun limfadenopati seringkali tidak terlihat.

Pemeriksaan sputum biasanya positif menunjukkan adanya basilus (Kementerian Kesehatan RI, 2020).

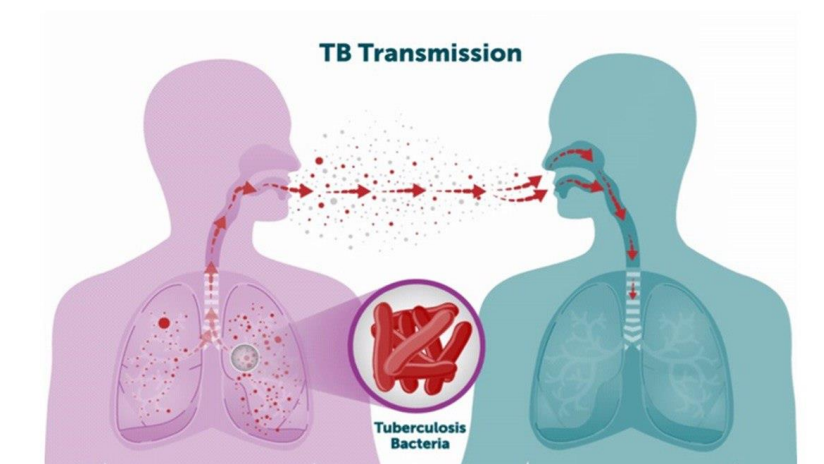
Penelitian oleh Dheda *et al.*, (2023) menunjukkan bahwa reaktivasi TB pasca primer lebih umum terjadi pada individu dengan sistem imun yang terganggu, seperti pada penderita HIV/AIDS, yang memperburuk prognosis penyakit. Selain itu, penelitian oleh Kharwadkar *et al.*, (2022) menekankan pentingnya deteksi dini dan pengobatan yang tepat untuk mencegah perkembangan TB aktif dari infeksi laten, terutama pada populasi berisiko tinggi.

2.6.2 Transmisi TB

Tuberkulosis merupakan penyakit menular yang utamanya menyebar melalui udara. Proses transmisi terjadi ketika seseorang dengan TB paru atau TB laring aktif mengeluarkan percik relik (*droplet nuclei*) ke udara saat batuk, bersin, berbicara, atau bernyanyi. *Droplet* ini berukuran sangat kecil (kurang dari 5 mikrometer) sehingga dapat melayang di udara selama beberapa jam dan terhirup oleh individu lain (CDC, 2023). Setiap partikel dapat mengandung satu hingga lima basil *Mycobacterium tuberculosis*, dan jika terhirup, mampu mencapai alveolus paru-paru, tempat bakteri mulai berkembang biak dan menyebabkan infeksi.

Percik relik yang mengandung *Mycobacterium tuberculosis* juga dapat terbentuk selama prosedur medis tertentu yang menghasilkan aerosol, seperti bronkoskopi, induksi sputum, atau pengolahan spesimen jaringan di laboratorium (Kementerian Kesehatan RI, 2020). Lingkungan yang tertutup, minim ventilasi, lembap, dan gelap cenderung meningkatkan risiko penularan karena *droplet* dapat bertahan lebih lama di udara. Penelitian oleh Li *et al.* (2021) menunjukkan bahwa kondisi lingkungan yang tidak sehat, seperti ventilasi yang buruk, berkontribusi signifikan terhadap peningkatan risiko penularan tuberkulosis.

Centers for Disease Control and Prevention (CDC) menegaskan bahwa TB tidak menyebar melalui kontak langsung seperti berjabat tangan, berbagi makanan atau minuman, menyentuh permukaan benda, atau berciuman (CDC, 2022). Penularan hanya terjadi melalui udara dan terbatas pada pasien dengan TB paru atau laring yang aktif. TB ekstra paru umumnya tidak menular, kecuali jika prosedur medis memunculkan aerosol dari jaringan terinfeksi. Tingkat penularan sangat dipengaruhi oleh banyak faktor, termasuk jumlah basil yang dikeluarkan pasien (misalnya pada pasien dengan hasil BTA 3+), durasi dan frekuensi kontak, kondisi ventilasi ruangan, serta daya tahan tubuh individu yang terpapar. Setelah basil terhirup, tidak semua individu langsung jatuh sakit. Sebagian besar akan mengalami infeksi TB laten, yaitu kondisi di mana basil TB ada dalam tubuh tetapi tidak menimbulkan gejala dan tidak menular. Namun, kondisi ini dapat berkembang menjadi TB aktif jika imunitas menurun (CDC, 2023).



(CDC, 2023)

Gambar 2.1 Mekanisme Transmisi Tuberkulosis Melalui Udara.

Gambar ini menunjukkan bagaimana basil TB dari penderita aktif dapat menyebar melalui udara dan terhirup oleh individu sehat, yang kemudian masuk ke saluran napas bawah dan menyebabkan infeksi.

2.6.3 Faktor Lingkungan yang Mempengaruhi Transmisi

Laporan *Global Tuberculosis Report 2024* dari WHO menyoroti bahwa faktor lingkungan memainkan peran penting dalam transmisi tuberkulosis. Beberapa faktor lingkungan yang berkontribusi antara lain:

- a. Kepadatan hunian: Tinggal di lingkungan dengan kepadatan penduduk tinggi meningkatkan risiko penularan TB karena interaksi dekat antarindividu. Penelitian oleh Pralambang & Setiawan (2021) menunjukkan bahwa kepadatan populasi yang tinggi berhubungan langsung dengan peningkatan insiden TB, terutama di daerah perkotaan.
- b. Ventilasi yang Buruk: Ruang dengan sirkulasi udara yang tidak memadai memungkinkan akumulasi *droplet* infeksius, meningkatkan kemungkinan inhalasi oleh individu lain. Penelitian oleh Li *et al.*, (2021) menekankan bahwa ventilasi yang baik sangat penting untuk mengurangi risiko penularan TB di lingkungan tertutup, dan bahwa peningkatan ventilasi dapat menurunkan konsentrasi kuman di udara.
- c. Paparan Jangka Panjang: Kontak yang lama dengan penderita TB aktif, terutama di lingkungan kerja atau rumah tangga, meningkatkan risiko infeksi. Penelitian oleh Dheda *et al.*, (2023) menunjukkan bahwa durasi kontak yang lama dengan pasien TB aktif berkontribusi signifikan terhadap penularan, dengan risiko yang lebih tinggi pada anggota keluarga yang tinggal serumah.
- d. Pencahayaan Alami yang Kurang: Paparan sinar matahari langsung efektif membunuh bakteri penyebab TB, sedangkan lingkungan yang gelap dan lembap memungkinkan bakteri bertahan lebih lama. Pencahayaan alami yang memadai di dalam rumah merupakan faktor penting dalam mengurangi risiko penularan TB. Menurut Peraturan Menteri Kesehatan Republik

Indonesia Nomor 2 Tahun 2023 tentang kesehatan lingkungan, intensitas pencahayaan alami di dalam rumah sebaiknya minimal 60 lux dan tidak menyilaukan. Penelitian oleh Kharwadkar *et al.*, (2022) menunjukkan bahwa rumah dengan pencahayaan alami kurang dari 60 lux memiliki risiko lebih tinggi terkena TB paru dibandingkan dengan rumah yang pencahayaannya memenuhi syarat.

- e. Kelembapan dan Suhu Ruangan: Kelembapan dan suhu ruangan berperan dalam penularan TB. Kelembapan yang tidak sesuai dapat menciptakan lingkungan yang mendukung pertumbuhan bakteri penyebab TB. Penelitian oleh Jannah *et al.*, (2023) menunjukkan bahwa rumah dengan kelembapan tinggi memiliki risiko lebih besar terkena TB dibandingkan dengan rumah yang kelembapannya memenuhi syarat, dan bahwa suhu yang terlalu dingin juga dapat mempengaruhi daya tahan tubuh terhadap infeksi.
- f. Polusi Udara dalam Ruangan (*Indoor Air Pollution*): Paparan asap rokok, asap dapur (dari kayu bakar, minyak tanah), dan polutan lain menyebabkan iritasi saluran pernapasan dan melemahkan sistem pertahanan paru, sehingga meningkatkan risiko infeksi TB. Penelitian oleh Pralambang dan Setiawan (2021) menunjukkan bahwa paparan polusi udara dalam ruangan berhubungan erat dengan peningkatan insiden TB, terutama di kalangan perokok dan mereka yang menggunakan bahan bakar fosil untuk memasak.
- g. Kondisi Sosial Ekonomi: Penelitian oleh Fatoumatta Darboe *et al.*, (2024) menunjukkan bahwa individu dengan status sosial ekonomi rendah memiliki akses terbatas terhadap perawatan kesehatan dan informasi, yang meningkatkan risiko penularan dan perkembangan TB.

WHO merekomendasikan penerapan kontrol lingkungan seperti peningkatan ventilasi, penggunaan sistem filtrasi udara, dan pengurangan kepadatan ruang sebagai langkah pencegahan transmisi TB.

2.7 Tanda dan Gejala TB Paru

Gejala awal orang yang terkena infeksi penyakit TB Paru bisa dikenali dari tanda-tanda kondisi pada fisik penderitanya, yaitu salah satunya penderita akan mengalami demam yang tidak terlalu tinggi dan berlangsung lama, demam tersebut biasanya dialami pada malam hari disertai dengan keluarnya keringat. Kadang-kadang penderita mengalami demam yang disertai gejala mirip influenza, yang muncul secara sementara dan kemudian mereda kembali. Berikut ini adalah gejala penyakit tuberkulosis menurut Kementerian Kesehatan RI (2020):

- a. Demam persisten: pucat, anemia, kelemahan
- b. Anoreksia
- c. Penurunan berat badan
- d. Batuk ada atau tidak (berkembang secara perlahan selama berminggu-minggu sampai berbulan-bulan)
- e. Batuk berdahak dapat bercampur darah
- f. Menggigil
- g. Berkeringat di malam hari
- h. Peningkatan frekuensi pernapasan

2.8 Komplikasi TB

Tuberkulosis paru apabila tidak ditangani dengan baik akan menimbulkan komplikasi. Penanganan pada penderita tuberkulosis yang tidak benar akan menimbulkan komplikasi sebagai berikut :

- a) Komplikasi dini yaitu emfisema, efusi pleura, laringitis, usus, pleuritis, dan *Poncet's arthropathy*.

- b) Komplikasi lanjut yaitu Sindrom *Obstruksi Pasca Tuberculosis* (SOPT), obstruksi jalan nafas, kerusakan parenkim berat, korpulmonal, karsinoma, fibrosis paru, Efektivitas Pemberian Teknik amiloidosis, sindrom gagal nafas dewasa (ARDS), sering terjadi pada TB Paru milier dan kavitas TB Paru.

2.9 Pengobatan TB

a. Tahap Awal (Intensif)

Dilakukan setiap hari selama 2 bulan untuk pasien TB baru. Tahap ini bertujuan menurunkan jumlah kuman TB secara cepat dan mengurangi risiko munculnya kuman yang resisten sebelum pengobatan dimulai. Jika pengobatan dilakukan dengan benar dan rutin, penularan TB biasanya menurun drastis setelah dua minggu pertama pengobatan (Kementerian Kesehatan RI, 2025; WHO, 2024).

b. Tahap Lanjutan (Lanjutan)

Dilakukan selama 4 bulan dengan pemberian obat setiap hari untuk membasmi kuman TB yang persisten dan sulit mati, sehingga memastikan kesembuhan total dan mencegah kekambuhan penyakit (Kementerian Kesehatan RI, 2025; WHO, 2024).

Tabel 2.1 Dosis rekomendasi OAT lini pertama untuk dewasa

Obat	Dosis Harian (mg/kg berat badan)	Dosis Maksimum Harian (mg)	Dosis 3x/Minggu (mg/kg berat badan)	Dosis Maksimum 3x/Minggu (mg)
Isoniazid	5 (rentang: 4-6)	300	10 (rentang: 8-12)	900
Rifampisin	10 (rentang: 8-12)	600	10 (rentang: 8-12)	600
Pirazinamid	25 (rentang: 20-30)	-	35 (rentang: 30-40)	-
Etambutol	15 (rentang: 15-20)	-	30 (rentang: 25-35)	-

2.10 Pencegahan TB

Pencegahan tuberkulosis paru merupakan langkah yang sangat penting dan lebih efektif dibandingkan dengan pengobatan setelah penyakit terjadi. Upaya ini tidak hanya bergantung pada intervensi medis seperti deteksi dini dan pengobatan, tetapi juga sangat dipengaruhi oleh perbaikan kondisi lingkungan yang merupakan salah satu faktor risiko utama penularan TB. Karena TB menyebar melalui udara, lingkungan yang tidak sehat dapat meningkatkan peluang transmisi *Mycobacterium tuberculosis*. Sebaliknya, lingkungan yang sehat dapat berperan sebagai pertahanan penting dalam mencegah penyebaran basil TB. Oleh sebab itu, perbaikan dan pengendalian faktor-faktor lingkungan harus menjadi bagian integral dari strategi pencegahan TB secara menyeluruh. Beberapa upaya pencegahan berbasis lingkungan yang dapat dilakukan antara lain:

1. Meningkatkan Ventilasi Alami

Ventilasi yang baik dapat secara signifikan mengurangi risiko penularan tuberkulosis. Membuka jendela dan pintu secara rutin memungkinkan terjadinya pergantian udara segar, yang membantu menurunkan konsentrasi partikel basil di udara. Desain rumah yang ramah terhadap pencegahan TB juga menekankan pentingnya ventilasi silang (*cross-ventilation*) (Li *et al.*, 2021).

2. Mengoptimalkan Pencahayaan Matahari

Kementerian Kesehatan RI (2020) menyatakan bahwa pencahayaan alami yang cukup dapat membantu membunuh bakteri penyebab TB. Rumah sebaiknya memiliki akses terhadap cahaya matahari langsung guna mendukung kesehatan lingkungan dan mengurangi risiko penularan penyakit, termasuk TB.

3. Mengurangi Kepadatan Hunian

Upaya ini bisa dilakukan dengan kebijakan pembangunan rumah sehat atau edukasi untuk mengurangi jumlah penghuni dalam satu ruangan, terutama di daerah kumuh atau padat penduduk.

4. Menghilangkan Sumber Polusi Udara dalam Ruangan

Upaya mengurangi polusi udara dalam ruangan merupakan langkah penting dalam pencegahan infeksi tuberkulosis. Menghindari kebiasaan merokok di dalam rumah, menyediakan ventilasi pada area dapur, serta mengganti bahan bakar padat seperti kayu atau arang dengan energi bersih dapat menurunkan risiko kerusakan paru dan meminimalkan kerentanan terhadap infeksi TB (Pralambang & Setiawan, 2021).

5. Pembersihan dan Desinfeksi Rutin

Kebersihan lingkungan berkontribusi pada peningkatan derajat kesehatan masyarakat. Menjaga kebersihan rumah serta permukaan yang sering disentuh dapat membantu mengurangi risiko penyakit secara umum. Meskipun tuberkulosis lebih banyak menyebar melalui udara, kebersihan umum tetap penting sebagai bagian dari upaya pencegahan terpadu (Jannah et al., 2023).

6. Edukasi Masyarakat tentang Rumah Sehat

Edukasi masyarakat merupakan kunci dalam meningkatkan kesadaran akan pencegahan tuberkulosis. Penyuluhan mengenai pentingnya ventilasi, pencahayaan, dan sanitasi dapat mendorong perubahan perilaku masyarakat terhadap tempat tinggal dan lingkungan sekitarnya (Fatoumatta Darboe et al., 2024).

7. Pengelolaan Sampah dan Air Limbah yang Baik

Lingkungan yang bersih secara keseluruhan membantu memperkuat kesehatan masyarakat dan daya tahan tubuh terhadap infeksi.

