

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

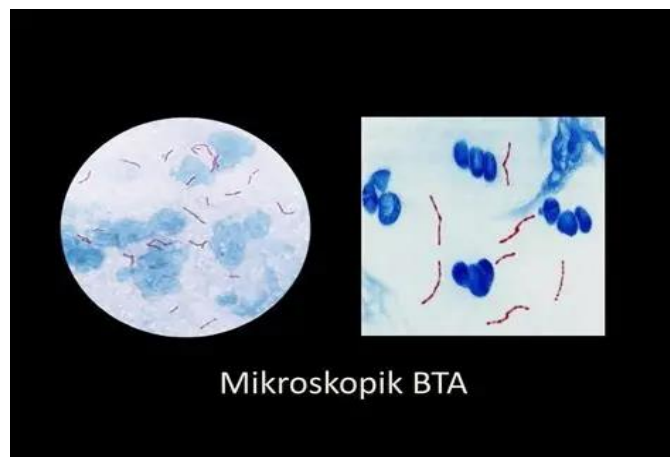
A. Tuberkulosis Paru

1. Tuberkulosis Paru

Menurut Abdul Wahid dan Imam Suprpto (2013). Tuberkulosis Paru adalah infeksi bakterionik yang disebabkan oleh pajanan *Mycobacterium tuberculosis* yang ditandai dengan adanya pembentukan granuloma pada jaringan yang terinfeksi serta hipersensitivitas melalui perantara sel (*cell mediated hypersensitivity*). Meskipun tempat infeksi primer bakteri ini di bagian paru-paru, mikrobakteri juga sering ditemukan pada bagian tubuh lainnya (Journal & Muhammadiyah, 2020)

Penyakit ini umumnya menyerang paru-paru, namun dapat pula menyebar ke organ tubuh lainnya. Bakteri penyebabnya berbentuk batang, memiliki dinding sel yang tebal, tumbuh secara lambat, dan bersifat tahan terhadap asam serta alkohol, sehingga di kenal sebagai basil tahan asam (BTA). Penularan dapat terjadi melalui saluran pernafasan, saluran pencernaan, maupun melalui luka terbuka pada kulit (Permana, 2024)

2. Etiologi Tuberkulosis Paru



Gambar 1 BTA pada mikroskop

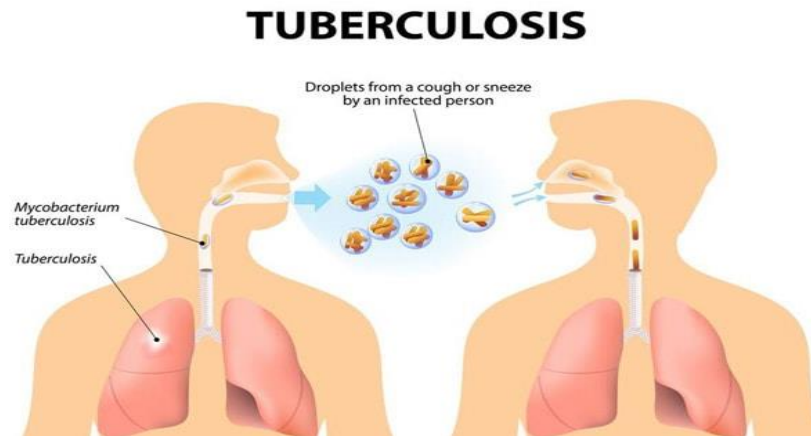
Sumber: Buku Panduan Pemeriksaan Sputum BTA (Hunter *et al.*, 2018)

Tuberkulosis Paru disebabkan oleh basil *Mycobacterium tuberculosis* tipehumanus, sejenis kuman yang berbentuk batang (basil) dengan Panjang 1-4 mm dan tebal 0,3-0,6 mm, dan memiliki dinding sel tebal kaya lipid yang membuatnya tahan asam (BTA), sehingga saat diwarnai dengan metode Ziehl-Neelsen (ZN), bakteri ini tampak berwarna merah terang atau merah muda karena sifatnya yang tahan asam (BTA), kontras dengan latar belakang biru. *Mycobacterium tuberculosis* termasuk dalam family *Mycobacteriaceae* mempunyai berbagai genus, salah satu diantaranya yaitu *Mycobacterium* dengan spesies *M. Tuberculosis* (Permana, 2024).

Bakteri ini memiliki sifat istimewa karena tahan terhadap pencucian warna dengan asam dan alcohol bakteri ini sering disebut dengan Basil Tahan Asam. *Mycobacterium tuberculosis* mampu bertahan hidup pada keadaan yang kering dan dingin. Sifat lain dari *Mycobacterium tuberculosis* yaitu bersifat aerob yang menunjukkan bahwa bakteri ini lebih dominan pada jaringan yang tinggi akan kandungan oksigen. *Mycobacterium tuberculosis* hanya dapat dilihat dengan mikroskop dengan pewarnaan dan metode khusus, berwarna merah, berbentuk batang, dan tahan asam (Permana, 2024).

Sifat tahan asam pada *Mycobacterium tuberculosis* dikarenakan adanya lipid pada permukaan bakteri sehingga pada saat pencucian setelah pewarnaan, warna tidak dapat dihilangkan dengan asam dan alcohol. *Mycobacterium tuberculosis* mengandung zat imunoreaktif. Lipid yang terdapat pada permukaan mikrobakterium dan komponen peptidoglikan dinding sel yang larut air merupakan tambahan penting yang dapat menimbulkan efeknya melalui kerja primernya pada makrofag penjamu (Purba, 2021)

3. Penularan



Gambar 2 Patogenesis Tuberkulosis Paru

Sumber : *The Pathogenesis of Tuberculosis: The Early Infiltrate* (Hunter *et al.*, 2018)

Mycobacterium tuberculosis dapat ditularkan melalui penderita tuberkulosis positif dan ditularkan melalui udara. Tuberkulosis dapat menular dikarenakan *Mycobacterium tuberculosis* masuk kedalam tubuh (jaringan paru) melalui saluran pernafasan (dropletin fection) menuju alveoli untuk berkumpul dan memperbanyak diri. Setelah berkumpul dan memperbanyak diri didalam alveoli, maka terjadilah infeksi primer (ghon) yang selanjutnya menyebar menuju kelenjar getah bening setempat dan membentuk primer kompleks (ranke). Selain itu bakteri ini dapat berpindah serta menyebar melalui system limfe dan cairan darah menuju bagian tubuh yang lainnya (*Validation of Cellular Tests for Lyme Borreliosis (VICTORY) Study _ BMC Infectious Diseases _ Full Text*, n.d.)

4. Tanda dan Gejala

Gejala klinik tuberkulosis paru dapat dibagi menjadi 2 golongan yaitu gejala respiratorik dan gejala sistemik.

a) Gejala Respiratorik

1. Batuk

Batuk merupakan gejala yang timbul paling dini. Gejala batuk banyak ditemukan pada kasus tuberkulosis paru dan terjadi karena adanya iritasi pada bronkus. Akibatnya adanya peradangan pada bronkus, sifat batuk dimulai batuk kering (non-produktif) kemudian

setelah timbul gejala menjadi produktif (menghasilkan sputum) yang terjadi lebih dari 3 minggu (Marwin Setia Wanti Sihotang, 2023)

2. Batuk Darah

Batuk darah terjadi karena pecahnya pembuluh darah. Berarti ringannya batuk darah tergantung dari besar kecilnya pembuluh darah yang pecah. Selain pecahnya pembuluh darah, hal lain yang dapat menyebabkan terjadinya batuk darah yaitu dikarenakan adanya ulserasi pada mukosa bronkus. Darah yang dikeluarkan dalam dahak bervariasi, dari tampak berupa garis atau bercak bercak darah, gumpalan darah atau darah segar dalam jumlah sangat banyak

3. Sesak Nafas

Sesak nafas ditemukan pada penderita yang lanjut dengan infiltrasinya sudah setengah bagian dari paru-paru. Gejala sesak nafas ditemukan apabila kerusakan parenkim paru sudah meluas atau adanya hal lain seperti efusi pleura, pneumothoraks, anemia, dan lain-lain (Marwin Setia Wanti Sihotang, 2023)

4. Nyeri Dada

Nyeri dada pada tuberkulosis paru termasuk nyeri pleuritik yang ringan. Gejala ini timbul apabila mengenai sistem pernafasan (Marwin Setia Wanti Sihotang, 2023)

b) Gejala Sistematis

1. Demam

Gejala pertama dari tuberkulosis paru demam yang biasanya timbul pada sore dan malam hari.

2. Malaise

Tuberkulosis paru bersifat radang menahun yang dapat menyebabkan timbulnya rasa tidak enak badan, pegal-pegal, berkurangnya nafsu makan, sakit kepala, mudah lelah dan dapat terjadinya gangguan siklus haid pada wanita yang menderita tuberkulosis paru.

3. Gejala Sistemik Lain

Gejala sistemik lainnya yaitu berkeringat pada malam hari, anoreksia, serta penurunan berat badan. Timbulnya gejala tersebut biasanya dalam beberapa minggu hingga beberapa bulan, namun penampilan akut dengan batuk, panas, sesak nafas walaupun jarang terjadi dapat timbul menyerupai gejala pneumonia (Marwin Setia Wanti Sihotang, 2023)

Perlu dicatat bahwa pada pasien dengan koinfeksi HIV, gejala-gejala tuberkulosis sering kali tidak muncul secara khas atau tidak sejelas pada pasien dengan sistem imun yang utuh. Oleh karena itu, selain menilai gejala klinis, penting untuk melakukan penelusuran riwayat yang berkaitan dengan faktor risiko, seperti adanya kontak erat dengan penderita TB, tinggal di lingkungan padat dan tidak sehat, serta bekerja di lingkungan dengan risiko tinggi terpapar infeksi paru, seperti pada tenaga kesehatan atau relawan TB

5. Mekanisme Masuknya Kuman TB ke Paru

Menurut Dikjen Pengendalian Penyakit dan Penyehatan Lingkungan (2014) cara penularan penyakit Tuberkulosis adalah :

- a. Sumber penularan adalah pasien TBC BTA positif melalui percik renik dahak yang dikeluarkannya. Namun, bukan berarti bahwa pasien TBC dengan hasil pemeriksaan BTA negatif tidak mengandung kuman dalam dahaknya. Hal tersebut bisa saja terjadi oleh karena jumlah kuman yang terkandung dalam contoh uji $\leq$ dari 5.000 kuman/cc dahak sehingga sulit dideteksi melalui pemeriksaan mikroskopis langsung.
- b. Pasien TBC dengan BTA negatif juga masih memiliki kemungkinan menularkan penyakit TBC. Tingkat penularan pasien TBC BTA positif adalah 65%, pasien TBC BTA negatif dengan hasil kultur positif adalah 26% sedangkan pasien TBC dengan hasil kultur negatif dan foto toraks positif adalah 17%.
- c. Infeksi akan terjadi apabila orang lain menghirup udara yang mengandung percik renik dahak yang infeksius tersebut.

- d. Pada waktu batuk atau bersin, pasien menyebarkan kuman ke udara dalam bentuk percikan dahak (droplet nuclei / percik renik). Sekali batuk dapat menghasilkan sekitar 3000 percikan dahak.

Kuman TBC menyebar melalui udara saat si penderita batuk, bersin, berbicara, atau bernyanyi. Yang hebat, kuman ini dapat bertahan di udara selama beberapa jam. Perlu diingat bahwa TBC tidak menular melalui berjabat tangan dengan penderita TBC, berbagi makanan/minuman, menyentuh seprai atau dudukan toilet, berbagi sikat gigi, bahkan berciuman. Lingkungan hidup yang sangat padat dan pemukiman di wilayah perkotaan yang kurang memenuhi persyaratan kemungkinan besar telah mempermudah proses penularan dan berperan sekali atas peningkatan jumlah kasus TBC. Penularan penyakit ini sebagian besar melalui inhalasi basil yang mengandung droplet nuclei, khususnya yang didapat dari pasien TB paru dengan batuk berdarah atau berdahak yang mengandung basil tahan asam (BTA) (Yusri, 2020)

6. Respon Imun Tubuh terhadap Infeksi TB

a. Mekanisme Sistem Imun Alami dalam Melawan Infeksi Tuberkulosis

Sistem imun alami merupakan pertahanan pertama tubuh terhadap infeksi dan terdiri atas barrier epitel, protein antimikroba, komponen humoral, serta sel-sel fagosit seperti makrofag, neutrofil, dan sel dendrit. Ketika *Mycobacterium tuberculosis* masuk ke alveolus, bakteri akan berinteraksi dengan makrofag alveolar melalui berbagai reseptor, terutama reseptor mannose yang berperan dalam pengaturan antimikroba, penyajian antigen, dan proses inflamasi. Permukaan bakteri yang mengandung lipoarabinomannan (LAM) dikenali oleh *pattern recognition receptors* (PRRs) seperti *Toll-Like Receptors* (TLRs). Aktivasi TLR2 memicu pelepasan sitokin proinflamasi dan menstimulasi fagosit untuk membunuh bakteri. Selain itu, sel epitel dan makrofag juga menghasilkan *cathelicidin LL-37* sebagai pertahanan antimikroba awal. (Putri, 2023)

Neutrofil menjadi bagian penting dalam fase akut infeksi dengan menghasilkan enzim proteolitik, *reactive oxygen species* (ROS), serta *neutrophil extracellular traps* (NETs) yang berfungsi menangkap dan

menghancurkan patogen. Setelah fagositosis, aktivasi TLR dan pelepasan komponen seperti *mycolyl-arabinogalactan-peptidoglycan* (MAGP) akan menstimulasi jalur MyD88 dan NF- κ B untuk memproduksi sitokin seperti TNF- α , IL-1 β , IL-6, dan IFN tipe I. TNF- α berperan penting dalam aktivasi makrofag, pematangan sel dendrit, serta pembentukan granuloma. Makrofag juga menghasilkan IL-12 yang menstimulasi sel NK untuk memproduksi IFN- γ , yang kemudian meningkatkan aktivitas fagosom dalam menghancurkan *M. tuberculosis*. Selain itu, TNF juga menginduksi apoptosis melalui aktivasi caspase untuk membatasi penyebaran infeksi. (Putri, 2023)

b. Mekanisme Sistem Imun Adaptif dalam Melawan Infeksi Tuberkulosis

Respon imun adaptif dimulai ketika antigen *M. tuberculosis* diproses oleh sel dendrit dan dipresentasikan melalui kompleks MHC kepada limfosit T. Sel T CD4+ berperan utama dalam menghasilkan IFN- γ yang mengaktifkan makrofag, sedangkan sel T CD8+ bekerja dengan melisis sel inang yang terinfeksi serta mengeluarkan sitokin seperti IFN- γ , IL-2, dan TNF. (Ni, n.d.)

Sitokin IL-17 yang dihasilkan oleh sel T CD4+ memperkuat respon inflamasi, sedangkan IL-10 berfungsi menekan aktivitas berlebihan dengan menghambat produksi IL-1 dan IL-12. Reseptor penghambat PD-1 pada sel T juga berperan dalam mengontrol aktivitas imun agar tidak merusak jaringan. Selain itu, *M. tuberculosis* merangsang makrofag untuk menghasilkan *Vascular Endothelial Growth Factor* (VEGF), yang memicu pembentukan granuloma melalui angiogenesis dan perekrutan sel imun. Granuloma ini terdiri atas makrofag, sel epitelioid, sel raksasa multinukleat, serta limfosit CD4+, CD8+, dan fibroblas yang membentuk kapsul fibrosis sebagai upaya tubuh membatasi penyebaran infeksi. (Putri, 2023)

7. Klasifikasi Tuberkulosis Paru

a. Tuberkulosis paru

Tuberkulosis paru adalah infeksi *Mycobacterium tuberculosis* yang menyerang jaringan paru (parenkim) atau saluran pernapasan seperti trakea dan bronkus. TB milier diklasifikasikan sebagai TB paru karena terdapat lesi di paru. Penderita yang mengalami TB paru dan ekstra paru harus diklasifikasikan sebagai kasus TB paru (Fitriani *et al.*, 2020)

b. Tuberkulosis ekstra paru

Tuberkulosis ekstra paru adalah infeksi *Mycobacterium tuberculosis* yang menyerang organ di luar jaringan paru, seperti pleura, selaput otak, kelenjar limfe, tulang, sendi, kulit, usus, atau ginjal. Penegakan diagnosis dilakukan secara klinis atau histologis, dan sebaiknya dikonfirmasi melalui pemeriksaan bakteriologis. (Fitriani *et al.*, 2020)

8. Pengobatan

Pengobatan penderita tuberkulosis paru bertujuan untuk menyembuhkan atau mengobati penderita, mencegah kematian, mencegah kekambuhan atau resistensi terhadap Obat Anti Tuberkulosis (OAT) serta untuk memutuskan rantai penularan tuberkulosis paru (P. Tuberkulosis *et al.*, 2014)

Pengobatan tuberkulosis paru diberikan dalam 2 tahapan yaitu :

a.) Tahap intensif (2-3 bulan)

Pada tahap intensif (awal) penderita tuberkulosis parumen dapat obat setiap hari diawasi langsung untuk mencegah terjadinya kekebalan terhadap semua OAT, terutama rifampisin. (*KADAR HEMOGLOBIN PADA PENDERITA TUBERKULOSIS PARU YANG MENGKONSUMSI OBAT ANTI TUBERKULOSIS* _Achmad _ *Jurnal Media Analis Kesehatan*, n.d.)

b.) Tahapan lanjutan (4-7 bulan)

Penderita tuberkulosis paru pada tahap lanjutan mendapat jenis obat yang lebih sedikit namun dalam jangka waktu yang lebih panjang. Tahap lanjutan penting untuk membunuh kuman persisten(dormant) sehingga mencegah terjadinya kekambuhan (Marwin Setia Wanti Sihotang, 2023)

B. Hemoglobin

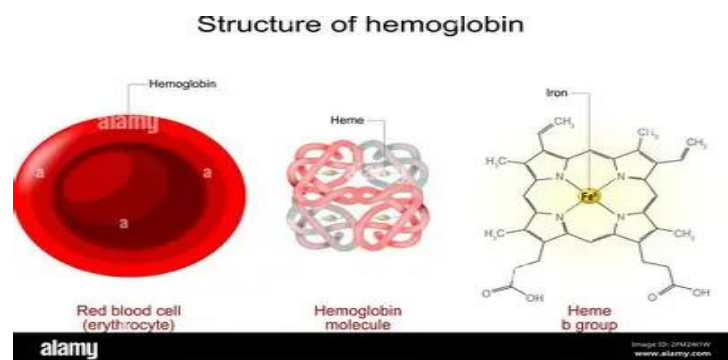
1. Hemoglobin

Hemoglobin merupakan protein utama tubuh manusia yang berfungsi mengangkut oksigen (O_2) dari paru-paru ke jaringan perifer dan mengangkut karbondioksida (CO_2) dari jaringan perifer ke paru-paru. Sintesis hemoglobin merupakan proses biokimia yang melibatkan beberapa zat gizi atau senyawa-antara. Proses sintesis ini terkait dengan sintesis heme dan protein globin (Maylina, 2010). Hemoglobin juga memberikan warna merah pada darah (Mustaqim, 2013). Selain itu kadar hemoglobin mampu menggambarkan produktivitas dari seseorang, karena hemoglobin sebagai zat pembakar untuk menghasilkan energi (Pada *et al.*, 2014).

Hemoglobin dapat diukur secara kimia dan jumlah Hb/100 ml darah digunakan sebagai indeks kapasitas pembawa oksigen pada darah. Kandungan hemoglobin yang rendah mengindikasikan anemia. Nilai normal yang sering dinyatakan adalah 14-18 mg/dL untuk pria, dan 12-16 mg/dL untuk wanita yang tidak hamil (No Title, 2019)

Hemoglobin dalam tubuh dapat meningkat maupun menurun. Penurunan kadar hemoglobin dalam darah disebut anemia. Anemia itu sendiri dapat disebabkan oleh banyak faktor diantaranya pendarahan, nutrisi yang rendah, kadar zat besi yang rendah, kadar hemoglobin yang tinggi dalam darah disebut polisitemia. Pemeriksaan kadar hemoglobin penting untuk dapat mengetahui kadar hemoglobin dalam darah (Talakua *et al.*, 2020)

2. Struktur Hemoglobin



Gambar 3. Struktur hemoglobin

Sumber : *Structure of hemoglobin. Red blood cell, hemoglobin molecule, and structural formula of a Heme b-group*(Hunter et al., 2018)

Nama hemoglobin berasal dari struktur komponennya, yaitu heme dan globin. Sebagai contoh, hemoglobin yang mengalami mutasi dan menyebabkan anemia sel sabit (Hb S) memiliki struktur rantai globin yang berbeda dibandingkan dengan hemoglobin normal orang dewasa (Hb A). Hemoglobin normal pada orang dewasa (Hb A) tersusun dari dua rantai alpha-globin dan dua rantai beta-globin. Sementara itu, pada janin atau bayi yang baru lahir, hemoglobin yang dominan dikenal sebagai Hb F (fetal), yang tersusun dari dua rantai alpha dan dua rantai gamma. Di dalam molekul hemoglobin terdapat unsur besi, yang sebagian besar ditemukan dalam hemoglobin, mioglobin, dan protein otot lainnya. Besi merupakan unsur penting dalam pembentukan hemoglobin karena menjadi pusat pengikat oksigen. Pusat molekul hemoglobin ini terletak pada cincin heterosiklik yang disebut porfirin, yang berfungsi mengikat atom besi.

Struktur ini dikenal sebagai heme. Setiap molekul hemoglobin memiliki empat gugus heme, sehingga hemoglobin mampu mengikat hingga empat molekul oksigen secara keseluruhan (*Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif & Penelitian Gabungan - Prof, n.d.*)

Molekul hemoglobin terdiri dari globin, aprotein, dan terdapat empat gugus heme, suatu molekul organik dengan satu atom besi. Mutasi pada gen protein hemoglobin mengakibatkan suatu golongan penyakit menurun yang disebut hemopati yang dimana diantaranya yang paling sering dijumpai yaitu anemia sel sabit atau thalassemia (Permana, 2024)

3. Fungsi Hemoglobin

Fungsi utama sel darah merah yaitu membawa oksigen dari paru-paru menuju jaringan yang terdapat dalam tubuh. Eritrosit memiliki kemampuan khusus untuk melakukan fungsi ini karena kandungan hemoglobin yang tinggi. Apabila hemoglobin pada sel darah merah tidak ada maka kapasitas pembawa oksigen dalam darah akan berkurang hingga 99% dan tentunya tidak akan mencukupi kebutuhan metabolisme tubuh. Fungsi terpenting dari hemoglobin adalah dalam kemampuannya untuk mengikat oksigen dengan longgar dan reversible. Akibatnya oksigen yang langsung terikat dalam paru-paru diangkut

sebagai oksidasi hemoglobin dalam darah arterial dan langsung terurai dalam jaringan. Dalam darah vena, hemoglobin akan bergabung dengan ion hydrogen yang dihasilkan oleh metabolisme sel sehingga dapat menjaga pH yang rendah (Journal & Muhammadiyah, 2020)

4. Kadar Hemoglobin

Kadar hemoglobin ialah ukuran pigmen respiratorik dalam butiran-butiran darah merah. Jumlah hemoglobin dalam darah normal adalah sekitar 15 gram setiap 100 ml darah dan jumlah ini biasanya disebut “100 persen”. Batas normal nilai hemoglobin untuk seseorang sukar ditentukan karena kadar hemoglobin bervariasi diantara setiap suku bangsa. WHO telah menetapkan batas kadar hemoglobin normal berdasarkan umur dan jenis kelamin (Talakua *et al.*, 2020)

Pengukuran kadar hemoglobin dalam darah adalah salah satu uji laboratorium klinis yang sering dilakukan. Pengukuran kadar hemoglobin digunakan untuk melihat secara tidak langsung kapasitas darah dalam membawa oksigen ke sel-sel di dalam tubuh. Pemeriksaan kadar hemoglobin merupakan indikator yang menentukan seseorang menderita anemia atau tidak. Berikut nilai kadar hemoglobin :

1. Laki-laki dewasa 13-17 g/dL
2. Wanita dewasa 12-16 g/dL
3. Wanita hamil 11-13 g/dL

Jika terjadi penurunan kadar hemoglobin maka akan menyebabkan terjadinya anemia. Anemia adalah suatu keadaan dimana kadar hemoglobin menurun, yang ditandai dengan gejala kelelahan, sesak nafas, pucat dan pusing (Ni, n.d.)

5. Faktor Pengaruh Kadar Hemoglobin

1. Usia dan Jenis Kelamin

Usia dan jenis kelamin merupakan faktor yang cukup untuk menentukan kadar hemoglobin darah. Nilai hemoglobin meningkat selama 10 tahun pada masa anak-anak dan selanjutnya akan meningkat pada masa pubertas. Pada usia lanjut, seiring bertambahnya usia dan berkurangnya

masa jaringan aktif dan berkurangnya fungsi dari banyak organ manusia dapat menyebabkan kadar hemoglobin menurun (Fatih *et al.*, 2025)

2. Ketinggian Tempat Tinggal

Orang yang tinggal di dataran yang tinggi dengan jumlah oksigen dalam udara yang sangat rendah kemudian diangkut oleh darah menuju jaringan dan menyebabkan produksi sel darah merah meningkat (Bangun *et al.*, 2023)

3. Olah raga

Olahraga dapat menyebabkan terjadinya peningkatan aktifitas metabolisme yang tinggi, asam yang diproduksi (ion hidrogen asam laktat) pun semakin meningkat sehingga mengakibatkan terjadinya penurunan PH. Penurunan pH dapat mengurangi daya tarik antara oksigen dan hemoglobin yang dapat menyebabkan hemoglobin melepaskan lebih banyak oksigen dan meningkatkan pengiriman oksigen menuju otot.

4. Kebiasaan Merokok

Asap rokok mengandung 4000 bahan kimia dan 2000 diantaranya beracun bagi kesehatan tubuh contohnya karbon monoksida (CO) yang dihasilkan oleh asap rokok dapat mengakibatkan pembuluh darah konstriksi sehingga terjadi peningkatan tekanan darah dan dinding pembuluh darah rentan sobek. Selain itu gas CO dapat menyebabkan desaturasi hemoglobin, menurunkan langsung peredaran oksigen untuk jaringan seluruh tubuh termasuk otot jantung.

5. Nutrisi

Nutrisi yang terdapat pada makanan dapat mempengaruhi kadar hemoglobin seseorang. Kecepatan produksi serta pematangan sel darah merah oleh sumsum tulang belakang dipengaruhi oleh nutrisi yang dikonsumsi seseorang, Vitamin B12 dan asam folat. Selain itu Zat besi juga diperlukan dalam pembentukan hemoglobin dan merupakan unsur yang sangat penting bagi tubuh.

6. Penyakit Tuberkulosis Paru

Pada penderita TB paru, kadar hemoglobin sering menurun karena infeksi kronik oleh *Mycobacterium tuberculosis* memicu respon peradangan sistemik. Proses ini menyebabkan peningkatan kadar hepsidin yang membatasi ketersediaan zat besi untuk pembentukan sel darah merah. Akibatnya, tubuh mengalami anemia yang dikenal sebagai anemia akibat penyakit kronik. Faktor lain seperti kurangnya asupan nutrisi dan efek samping obat juga memperburuk kondisi anemia tersebut.

6. Metode Pemeriksaan Hemoglobin

- a. Metode Tallqvist, metode ini memiliki prinsip kerja dengan membandingkan darah asli dengan skala warna bertingkat-tingkat mulai dari warna merah muda sampai merah tua (10% - 100%). Metode ini memiliki tingkat kesalahan antara 25% - 50%. Hal ini dipengaruhi oleh keterbatasan stok kertas filter khusus dan juga analisa hasil pembacaan (faktor pencahayaan, ketebalan tetesan darah, suhu, dan kelembapan), tetesan darah dibaca dalam rentan waktu cepat yaitu 10 sampai 15 menit karena darah cenderung akan berubah warna.
- b. Metode Cupri Sulfat, metode ini memiliki prinsip yaitu pemeriksaan hemoglobin dengan cupri sulfat adalah dengan mengukur kadar hemoglobin berdasarkan perbedaan berat jenis darah dengan berat jenis suatu larutan cupri sulfat.
- c. Metode Sahli, pada metode sahli hemoglobin dihidrolisis dengan HCl 0,1 N menjadi asam hematin yang berwarna coklat, kemudian warna yang terbentuk dibandingkan dengan warna standar. Perubahan asam hematin dibuat dengan cara pengenceran, sehingga warna bisa sama dengan warna standar. Hasil juga dipengaruhi dengan penyinaran serta warna standar yang sudah pudar. Faktor penyimpangan dalam metode ini mencapai 15% - 30%. Asam hematin adalah ferriheme yang kemudian dengan ion Cl^- membentuk ferrihemacloird atau heme yang berwarna coklat.

- d. Metode sianmethemoglobin, pada metode ini darah di encerkan dengan larutan yang mengandung potassium ferricyanide dan potassium cyanide. Potassium ferricyanide mengoksidasi besi yang ada di dalam heme merubah bentuk ferri menjadi methemoglobin dan kemudian menjadi sianmethemoglobin oleh potassium cyanide. Metode sianmethemoglobin dapat di ukur dengan spektrofotometer dengan panjang gelombang 540nm.
- e. Metode Hematology Analyzer, metode ini berbasis analisis otomatis yang akurat. Tingkat akurasi ini berbasis prinsip kolorimetri. Kekurangan metode ini yaitu membutuhkan biaya yang mahal.
- f. Metode Strip, seperti alat Esay Touch. Alat pemeriksaan Esay Touch GCHB memiliki prinsip yakni menghitung kadar hemoglobin pada sampel darah yang didasarkan pada perubahan potensial listrik yang terbentuk secara singkat dipengaruhi oleh interaksi kimia antara sampel darah yang diukur dengan elektroda terhadap strip. Alat Esay Touch GCHB ini adalah alat yang sangat mudah digunakan dan memiliki hasil sebenarnya.

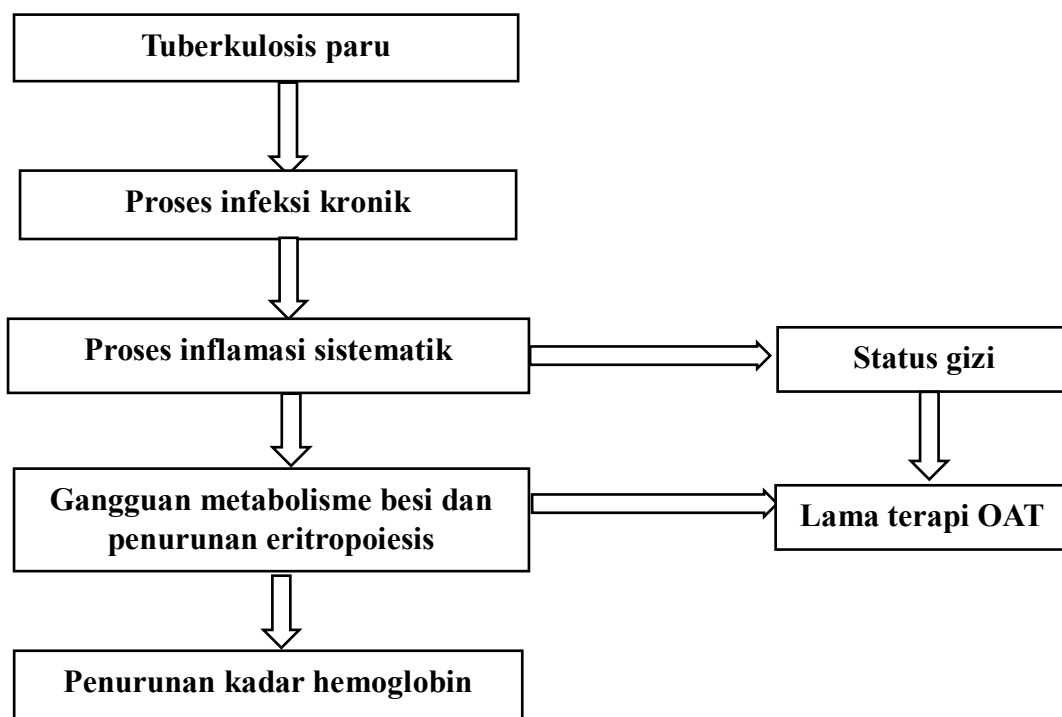
Mekanisme terjadinya penurunan kadar hemoglobin pada penderita TB (anemia penyakit kronik). Tuberkulosis paru sering dikaitkan dengan terjadinya anemia penyakit kronik (*anemia of chronic disease*) yang ditandai dengan penurunan kadar hemoglobin akibat gangguan metabolisme zat besi dan penurunan produksi eritrosit. Mekanisme utama yang mendasarinya adalah peningkatan kadar sitokin proinflamasi seperti interleukin-6 (IL-6) dan tumor necrosis factor-alpha (TNF- α) yang menghambat pelepasan zat besi dari makrofag serta menurunkan respons eritropoietin di sumsum tulang. Akibatnya, pembentukan sel darah merah terganggu dan kadar hemoglobin menurun meskipun cadangan zat besi tubuh cukup (Susanti & Sari, 2022).

Faktor-faktor yang memengaruhi kadar hemoglobin pada pasien TB status gizi, inflamasi kronis, efek obat, kehilangan darah). Kadar hemoglobin pada penderita tuberkulosis paru dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti status gizi yang buruk, proses inflamasi kronik, efek samping obat anti tuberkulosis (OAT), dan kehilangan darah. Status gizi yang rendah, terutama kekurangan zat

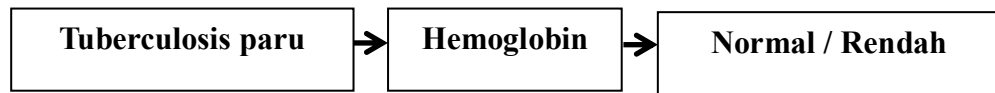
besi, asam folat, dan vitamin B12, dapat menurunkan produksi eritrosit. Proses inflamasi kronik yang berlangsung lama juga berperan dalam menekan eritropoiesis dan menghambat penyerapan zat besi di usus. Selain itu, beberapa OAT seperti isoniazid dapat menyebabkan hemolisis atau gangguan metabolisme vitamin B6 yang turut menurunkan kadar hemoglobin, sedangkan perdarahan saluran cerna yang terjadi akibat efek samping obat juga dapat memperparah anemia (Rahayu & Nurjanah, 2021).

Dampak rendahnya kadar hemoglobin terhadap kondisi klinis pasien TB Kadar hemoglobin yang rendah pada pasien TB paru berdampak signifikan terhadap kondisi klinis, karena anemia dapat memperburuk hipoksia jaringan dan menurunkan kemampuan tubuh melawan infeksi. Pasien dengan anemia sering mengalami kelelahan, sesak napas, penurunan daya tahan tubuh, serta respon penyembuhan yang lebih lambat terhadap terapi OAT. Selain itu, rendahnya kadar hemoglobin berhubungan dengan peningkatan morbiditas dan mortalitas pada pasien TB karena menghambat oksigenasi jaringan dan memperlambat proses regenerasi sel paru yang rusak (Putri & Santoso, 2020).

C. Kerangka Teori



Gambar 4 Kerangka Teori

D. Kerangka Konsep**Gambar 5 Kerangka Konsep**