

BAB 2

TINJAUAN TEORI

Bab ini menjelaskan tentang landasan teori yang mendasari penelitian mendasari penelitian meliputi : 1) Konsep Dasar Hemoglobin, 2) Konsep Dasar Gula Darah, 3) Konsep Dasar Tuberkulosis, 4) Kerangka Teori, 5) Kerangka Konseptual, 6) Hipotesis.

2.1 Konsep Dasar Hemoglobin

2.1.1 Definisi Hemoglobin

Hemoglobin atau Hb adalah protein yang berada di dalam sel darah merah. Hemoglobin (Hb) merupakan suatu protein tetrametrik eritrosit yang mengikat molekul bukan protein, yaitu senyawa porfirin besi yang disebut heme (Saraswati, 2021).

Hemoglobin (Hb) merupakan protein kompleks yang terdapat di dalam eritrosit (sel darah merah) dan berperan utama dalam proses transportasi oksigen dan karbon dioksida di dalam tubuh. Secara biokimia, hemoglobin termasuk ke dalam kelompok protein globular yang memiliki struktur kuartener berbentuk tetramer, yaitu tersusun atas empat rantai polipeptida (globin). Pada hemoglobin dewasa normal (HbA), struktur ini terdiri atas dua rantai alfa (α) dan dua rantai beta (β) yang saling berikatan membentuk konfigurasi fungsional yang stabil.

Setiap rantai globin berikatan dengan satu gugus prostetik yang disebut heme. Gugus heme merupakan senyawa porfirin yang mengandung satu atom besi dalam bentuk fero (Fe^{2+}) pada pusatnya. Atom besi inilah yang

memungkinkan hemoglobin berikatan secara reversibel dengan molekul oksigen (O_2). Sifat reversibel ini sangat penting karena memungkinkan hemoglobin mengambil oksigen di alveolus paru, kemudian melepaskannya di jaringan tubuh sesuai dengan kebutuhan metabolik sel.

2.1.2 Fungsi Hemoglobin

Hemoglobin mempunyai dua fungsi pengangkutan penting dalam tubuh manusia, yakni pengangkutan oksigen ke jaringan dan pengangkutan karbondioksida dan proton dari jaringan perifer ke organ respirasi (Kolang et al., 2025).

Hemoglobin merupakan komponen esensial dalam sistem transportasi gas yang berperan penting dalam mempertahankan keseimbangan fisiologis tubuh manusia. Molekul ini memungkinkan distribusi oksigen dari paru-paru ke seluruh jaringan melalui mekanisme ikatan reversibel antara atom besi pada gugus heme dan molekul oksigen. Proses tersebut terjadi ketika hemoglobin yang berada dalam eritrosit menangkap oksigen di alveolus, di mana tekanan parsial oksigen relatif tinggi, kemudian melepaskannya di jaringan perifer yang memiliki tekanan oksigen lebih rendah dan kebutuhan metabolik lebih besar. Dinamika perubahan konformasi hemoglobin selama proses pengikatan dan pelepasan oksigen mendukung efisiensi suplai oksigen untuk menunjang respirasi seluler dan produksi energi.

Selain berperan dalam distribusi oksigen, hemoglobin juga terlibat dalam pengangkutan sisa metabolisme berupa karbon dioksida dari jaringan menuju organ respirasi. Karbon dioksida yang dihasilkan selama proses

oksidasi seluler berdifusi ke dalam eritrosit dan sebagian berikatan dengan rantai globin membentuk senyawa karbaminohemoglobin. Pada saat yang sama, hemoglobin berfungsi sebagai sistem penyangga dengan mengikat ion hidrogen yang terbentuk dari reaksi antara karbon dioksida dan air di dalam eritrosit. Mekanisme ini berkontribusi dalam menjaga keseimbangan asam-basa darah serta memfasilitasi eliminasi karbon dioksida melalui paru-paru.

Dengan demikian, hemoglobin memiliki peran integral tidak hanya dalam distribusi oksigen untuk mendukung metabolisme sel, tetapi juga dalam pengaturan keseimbangan kimia darah melalui transportasi karbon dioksida dan ion hidrogen. Fungsi ganda ini menegaskan posisi hemoglobin sebagai molekul kunci dalam menjaga homeostasis dan keberlangsungan proses fisiologis tubuh

2.1.3 Klasifikasi Hemoglobin

Tabel 2. 1 Klasifikasi Kadar Hemoglobin

Populasi	Konsentrasi Kadar Hemoglobin (g/dL)			
	Normal	Anemia Ringan	Anemia Sedang	Anemia Berat
Dewasa usia 15-65 tahun				
Perempuan tidak hamil	12,0 g/dL	11,0-11,9 g/dL	8,0-10,9 g/dL	< 8,0 g/dL
Laki-laki	13,0 g/dL	11,0-12,9 g/dL	8,0-10,9 g/dL	< 8,0 g/dL
Kehamilan				
Trimester pertama	11,0 g/dL	10,0-10,9 g/dL	7,0-9,9 g/dL	< 7,0 g/dL
Trimester kedua	10,5 g/dL	9,5-10,4 g/dL	7,0-9,4 g/dL	< 7,0 g/dL
Trimester ketiga	11,0 g/dL	10,0-10,9 g/dL	7,0-9,9 g/dL	< 7,0 g/dL

Sumber : (World Health Organization, 2024)

2.1.4 Mekanisme Metabolisme Hemoglobin yang mempengaruhi Gula

Darah pada Pasien Tuberkulosis

Tuberkulosis paru merupakan penyakit infeksi kronis yang disebabkan oleh bakteri *Mycobacterium tuberculosis* yang terutama menyerang jaringan paru dan dapat menimbulkan dampak sistemik pada berbagai fungsi fisiologis tubuh. Infeksi ini tidak hanya memicu kerusakan jaringan paru, tetapi juga memengaruhi sistem hematologis serta metabolisme energi tubuh. Pada perjalanan penyakitnya, infeksi tuberkulosis menimbulkan respons imun yang kompleks yang ditandai dengan pelepasan berbagai mediator inflamasi. Makrofag alveolar yang pertama kali berinteraksi dengan bakteri akan mengalami aktivasi dan melepaskan sejumlah sitokin proinflamasi seperti tumor necrosis factor alpha (TNF- α), interleukin-1 (IL-1), interleukin-6 (IL-6), serta Interferon gamma (IFN- γ). Sitokin-sitokin tersebut berfungsi untuk meningkatkan kemampuan makrofag dalam menghancurkan bakteri dan mengkoordinasikan respons imun seluler (Cercamondi et al., 2021).

Pelepasan sitokin yang berlangsung terus-menerus pada infeksi kronis juga dapat menimbulkan perubahan fisiologis pada berbagai sistem tubuh, termasuk sistem hematologi dan metabolisme glukosa (Kornfeld et al., 2023). Salah satu dampak penting dari inflamasi kronis pada tuberkulosis adalah terjadinya anemia penyakit kronis yang ditandai dengan penurunan kadar hemoglobin. Hemoglobin merupakan protein utama dalam eritrosit yang memiliki fungsi vital dalam mengikat serta mengangkut oksigen dari paru-paru menuju jaringan tubuh. Ketika kadar hemoglobin menurun, kemampuan darah untuk

membawa oksigen menjadi berkurang sehingga jaringan tubuh mengalami kondisi hipoksia relatif. Keadaan hipoksia ini memicu berbagai mekanisme adaptasi metabolik pada tingkat seluler. Sel-sel tubuh akan meningkatkan penggunaan substrat energi, khususnya glukosa, untuk mempertahankan produksi energi melalui jalur metabolisme tertentu. Kondisi tersebut menyebabkan perubahan dalam regulasi metabolisme glukosa yang pada akhirnya dapat memengaruhi kadar gula darah dalam sirkulasi.

Inflamasi kronis yang dipicu oleh infeksi tuberkulosis juga berperan dalam memodifikasi sensitivitas insulin. Sitokin proinflamasi seperti TNF- α dan IL-6 diketahui dapat menghambat jalur pensinyalan insulin pada jaringan perifer seperti otot dan jaringan adiposa. Gangguan pada jalur tersebut menyebabkan berkurangnya kemampuan sel untuk mengambil glukosa dari aliran darah sehingga kadar glukosa dalam sirkulasi meningkat. Mekanisme ini dikenal sebagai resistensi insulin, suatu kondisi yang sering ditemukan pada penyakit inflamasi kronis. Oleh karena itu, proses inflamasi yang terjadi pada tuberkulosis tidak hanya memicu gangguan pada sistem imun, tetapi juga berkontribusi terhadap perubahan metabolisme glukosa yang dapat meningkatkan risiko terjadinya hiperglikemia maupun memperburuk kondisi diabetes mellitus pada pasien yang telah memiliki gangguan metabolisme glukosa sebelumnya.

Hubungan antara hemoglobin dan kadar gula darah juga dapat dijelaskan melalui peran hemoglobin dalam proses glikasi. Glukosa dalam darah dapat berikatan secara non-enzimatik dengan hemoglobin membentuk hemoglobin terglykasi yang dikenal sebagai HbA1c. Pembentukan HbA1c mencerminkan rata-

rata kadar glukosa darah selama masa hidup eritrosit. Namun, pada kondisi anemia yang sering terjadi pada pasien tuberkulosis, masa hidup eritrosit dapat mengalami perubahan sehingga memengaruhi konsentrasi hemoglobin terglikasi. Jika eritrosit memiliki masa hidup yang lebih pendek akibat proses inflamasi atau kerusakan sel darah merah, maka nilai HbA1c dapat tampak lebih rendah dibandingkan kadar glukosa darah yang sebenarnya. Pada kondisi tertentu nilai HbA1c dapat meningkat akibat perubahan metabolisme glukosa yang dipicu oleh inflamasi sistemik. Hal ini menunjukkan bahwa perubahan kadar hemoglobin tidak hanya berdampak pada transport oksigen, tetapi juga berpengaruh terhadap interpretasi parameter metabolik yang berkaitan dengan kadar gula darah (Kornfeld et al., 2023).

Hemoglobin memiliki peran tidak langsung namun signifikan dalam memengaruhi kadar gula darah melalui berbagai mekanisme fisiologis yang saling berkaitan. Penurunan hemoglobin dapat menyebabkan hipoksia jaringan yang memicu perubahan metabolisme energi, sementara proses inflamasi kronis yang menyertai tuberkulosis dapat mengganggu sensitivitas insulin dan meningkatkan kadar glukosa darah. Oleh karena itu, pemeriksaan kadar hemoglobin dan kadar gula darah secara bersamaan pada pasien tuberkulosis paru menjadi penting untuk mengevaluasi kondisi metabolik dan hematologis secara komprehensif. Pemahaman mengenai hubungan tersebut juga dapat membantu tenaga kesehatan dalam menentukan strategi pemantauan serta penatalaksanaan pasien secara lebih optimal.

2.1.5 Faktor yang mempengaruhi Kadar Hemoglobin

Faktor yang berpengaruh terhadap kadar Hemoglobin menurut (Kementrian Kesehatan Republik Indonesia, n.d.) antara lain :

1. Kekurangan Nutrisi

Kekurangan asupan zat gizi esensial merupakan salah satu faktor utama yang memengaruhi kadar hemoglobin. Nutrien seperti zat besi (Fe), asam folat, vitamin B12, dan protein memiliki peran penting dalam proses eritropoiesis (pembentukan sel darah merah). Defisiensi zat besi, khususnya, dapat menghambat sintesis hemoglobin sehingga menurunkan kapasitas pengangkutan oksigen dalam darah.

2. Kehilangan Darah

Kehilangan darah dalam jumlah besar atau berlangsung secara kronis dapat menyebabkan penurunan kadar hemoglobin. Kondisi ini dapat terjadi akibat perdarahan akut (misalnya kecelakaan atau tindakan operasi), infeksi parasit seperti cacing dan malaria, menstruasi yang berlebihan, maupun gangguan perdarahan pada saluran pencernaan seperti tukak lambung atau perdarahan usus.

3. Penyakit Kronis

Beberapa penyakit kronis, seperti penyakit ginjal kronis, kanker, dan penyakit autoimun, dapat mengganggu produksi eritrosit di sumsum tulang atau mempercepat destruksi sel darah merah. Pada penyakit ginjal kronis, misalnya, terjadi penurunan produksi hormon

eritropoietin yang berperan dalam stimulasi pembentukan sel darah merah.

4. Kelainan Genetik

Gangguan genetik tertentu, seperti talasemia atau anemia sel sabit, dapat memengaruhi struktur dan fungsi hemoglobin. Kelainan ini menyebabkan produksi hemoglobin yang abnormal atau tidak optimal, sehingga berdampak pada penurunan kadar hemoglobin dan gangguan transport oksigen.

5. Infeksi dan Peradangan

Infeksi dan kondisi peradangan kronis merupakan faktor yang dapat memengaruhi kadar hemoglobin melalui mekanisme gangguan eritropoiesis dan metabolisme zat besi. Pada keadaan inflamasi, tubuh meningkatkan produksi sitokin proinflamasi seperti interleukin-6 (IL-6) yang merangsang peningkatan kadar hepcidin. Peningkatan hepcidin akan menghambat absorpsi zat besi di usus serta menghambat pelepasan zat besi dari cadangan tubuh, sehingga terjadi gangguan pemanfaatan zat besi untuk pembentukan hemoglobin. Kondisi ini dikenal sebagai *anemia of chronic disease* atau anemia akibat penyakit kronis

6. Kondisi Ibu Hamil

Selama kehamilan, terjadi peningkatan kebutuhan zat besi dan volume plasma darah untuk mendukung pertumbuhan dan perkembangan janin. Apabila kebutuhan tersebut tidak terpenuhi melalui asupan

makanan atau suplementasi, ibu hamil berisiko mengalami anemia akibat hemodilusi dan peningkatan kebutuhan eritropoiesis.

7. Remaja Putri

Remaja putri merupakan kelompok yang rentan terhadap anemia karena berada dalam fase pertumbuhan yang pesat, memiliki aktivitas fisik yang tinggi, serta mengalami menstruasi secara rutin. Kehilangan darah setiap bulan dan pola diet yang tidak seimbang, termasuk praktik diet ekstrem, dapat memperburuk risiko penurunan kadar hemoglobin

2.1.6 Dampak Kadar Hemoglobin Kurang

Menurut (World Health Organization, 2025) Kadar Hemoglobin rendah merupakan kondisi klinis yang dapat menimbulkan spektrum gejala dari ringan hingga berat, bergantung pada tingkat penurunan hemoglobin serta kondisi individu. Manifestasi yang sering dijumpai meliputi :

1. Rasa lelah yang berkepanjangan disertai penurunan toleransi terhadap aktivitas fisik.
2. Sensasi pusing atau kepala terasa ringan.
3. Ekstremitas, terutama tangan dan kaki, terasa lebih dingin dari normal.
4. Keluhan sakit kepala dengan variasi intensitas.
5. Sesak napas, khususnya ketika melakukan aktivitas.\

Pada anemia dengan derajat yang lebih berat, tanda dan gejala klinis dapat berkembang menjadi lebih serius, antara lain:

1. Pucat pada selaput lendir, seperti mukosa mulut dan hidung.
2. Kulit dan area di bawah kuku tampak lebih pucat dari normal.
3. Frekuensi pernapasan dan denyut jantung meningkat (takipnea dan takikardia).
4. Rasa melayang atau pusing saat perubahan posisi, terutama ketika berdiri.

Selain gejala tersebut, anemia dapat muncul secara simptomatik dalam bentuk keluhan seperti palpitasi, perburukan kondisi gagal jantung, maupun angina. Lebih lanjut, anemia tidak hanya berdampak secara akut, tetapi juga memiliki implikasi jangka panjang. Pada kehamilan, kondisi ini dikaitkan dengan peningkatan risiko persalinan melalui operasi caesar serta mortalitas maternal, dan berkontribusi terhadap luaran neonatal yang kurang optimal, termasuk berat badan lahir rendah dan masa gestasi yang lebih singkat. Pada populasi anak, anemia berhubungan dengan gangguan perkembangan kognitif baik dalam jangka pendek maupun panjang, yang dalam beberapa situasi dapat bersifat permanen.

2.1.7 Upaya Pencegahan Kadar Hemoglobin Kurang

Menurut (World Health Organization, 2025) pemenuhan kebutuhan gizi yang adekuat merupakan salah satu strategi utama dalam mencegah dan menangani kadar hemoglobin rendah. Pola konsumsi yang dianjurkan mencakup asupan makanan yang mengandung zat besi, folat, vitamin B12, vitamin A, serta

berbagai mikronutrien lain yang berperan dalam proses pembentukan sel darah merah dan sintesis hemoglobin. World Health Organization juga merekomendasikan peningkatan konsumsi bahan pangan sumber zat besi, baik yang berasal dari hewani maupun nabati. Sumber hewani yang dianjurkan meliputi daging merah tanpa lemak, ikan, serta unggas, karena mengandung zat besi heme yang memiliki tingkat penyerapan lebih tinggi oleh tubuh. Selain itu, sumber nabati seperti kacang-kacangan (misalnya lentil dan buncis), sereal yang telah difortifikasi, serta sayuran berdaun hijau tua juga disarankan sebagai bagian dari pola makan sehari-hari.

Asupan vitamin C perlu diperhatikan karena berperan dalam meningkatkan bioavailabilitas zat besi, terutama zat besi non-heme yang berasal dari tumbuhan. Konsumsi buah dan sayuran yang kaya vitamin C secara bersamaan dengan makanan sumber zat besi dapat membantu optimalisasi proses absorpsi di saluran cerna. Sebaliknya, World Health Organization juga menekankan pentingnya membatasi konsumsi bahan makanan atau minuman tertentu yang dapat menghambat penyerapan zat besi, terutama apabila dikonsumsi bersamaan dengan makanan sumber zat besi. Beberapa di antaranya adalah produk sereal tinggi dedak seperti gandum utuh dan oat, serta minuman seperti teh, kopi, dan kakao. Kandungan senyawa tertentu dalam bahan tersebut dapat mengikat zat besi sehingga menurunkan jumlah yang dapat diserap tubuh. Selain itu, asupan kalsium dalam jumlah tinggi pada waktu yang sama juga dapat mengurangi efisiensi penyerapan zat besi.

2.2 Konsep Dasar Gula Darah

2.2.1 Definisi Gula Darah

Gula darah merupakan komponen utama yang menyediakan energi bagi seluruh sel tubuh untuk menjalankan fungsinya. Konsentrasi glukosa yang beredar di dalam aliran darah mencerminkan keadaan metabolisme individu dan sering digunakan sebagai parameter penilaian klinis (Sangadji, 2023). Kadar ini bersifat dinamis karena dapat mengalami peningkatan atau penurunan sesuai kebutuhan tubuh, dan pengaturannya berlangsung melalui kerja hormon, khususnya insulin dan glukagon, yang berperan dalam mempertahankan keseimbangan kadar glukosa dalam sirkulasi darah (Byers & Guy, 2024)

2.2.2 Klasifikasi Gula Darah

Menurut *American Diabetes Association* (ADA) dalam (Damtie et al., 2025) untuk mengklasifikasikan status gula darah:

Tabel 2. 2 Klasifikasi Kadar Gula Darah

Kategori	Nilai Gula Darah Puasa (FGD)
Diabetes Mellitus	≥ 126 mg/dl.
Prediabetes	di antara 100 dan 126 mg/dl.
Normal	< 100 mg/dL

Sumber : (Damtie et al., 2025)

2.2.3 Mekanisme Regulasi Gula Darah

Kadar gula darah merupakan hasil metabolisme karbohidrat yang berfungsi sebagai sumber energi utama bagi tubuh. Pengaturannya berlangsung melalui mekanisme hormonal yang menjaga keseimbangan glukosa dalam sirkulasi. Insulin berperan sebagai hormon utama dalam regulasi ini dengan

membantu penyerapan glukosa ke dalam sel serta menurunkan kadar glukosa dalam darah ketika terjadi peningkatan setelah asupan makanan (Awalia et al., 2024).

Proses regulasi tersebut bersifat dinamis dan melibatkan interaksi berbagai hormon untuk mempertahankan homeostasis. Ketidakseimbangan dalam mekanisme ini, seperti gangguan kerja insulin atau peningkatan hormon stres tertentu, dapat menyebabkan peningkatan kadar glukosa darah. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa kestabilan gula darah sangat bergantung pada koordinasi sistem hormonal dalam mengatur produksi, pemanfaatan, dan penyimpanan glukosa di dalam tubuh. Pada Pasien TB keadaan ini bersifat immunosupresif yang menurunkan kemampuan sel imun (seperti makrofag) untuk melawan bakteri *Mycobacterium tuberculosis*. Sebaliknya, infeksi TB sendiri bertindak sebagai stresor biologis berat yang memicu pelepasan hormon kortisol dan sitokin inflamasi. Hal ini menyebabkan kondisi resistensi insulin sementara yang mengakibatkan kadar gula darah meningkat, bahkan pada pasien yang sebelumnya tidak menderita diabetes (Byers & Guy, 2024).

Kadar gula darah terbentuk dari hasil metabolisme karbohidrat yang dikonsumsi. Setelah makanan dicerna, karbohidrat dipecah menjadi glukosa di dalam saluran cerna, kemudian diserap melalui usus halus dan masuk ke aliran darah. Peningkatan kadar glukosa darah ini merangsang sel beta pankreas untuk mensekresikan hormon insulin. Insulin berperan penting dalam membantu glukosa masuk ke dalam sel, terutama sel otot dan jaringan adiposa, untuk digunakan sebagai sumber energi atau disimpan dalam bentuk glikogen di hati dan

otot. Mekanisme ini menjaga agar kadar glukosa dalam darah tetap berada dalam batas normal. Ketika kadar glukosa darah menurun, misalnya saat puasa atau aktivitas fisik berkepanjangan, pankreas akan melepaskan hormon glukagon dari sel alfa.

Glukagon bekerja dengan merangsang pemecahan glikogen (glikogenolisis) di hati serta meningkatkan pembentukan glukosa baru dari substrat non-karbohidrat seperti asam amino dan gliserol melalui proses glukoneogenesis. Selain insulin dan glukagon, hormon lain seperti kortisol, hormon pertumbuhan, dan adrenalin juga turut memengaruhi kadar gula darah dengan meningkatkan produksi atau mengurangi penggunaan glukosa. Dengan demikian, regulasi gula darah merupakan proses fisiologis yang melibatkan keseimbangan antara produksi, penggunaan, penyimpanan, dan pelepasan glukosa. Interaksi kompleks antar hormon ini memungkinkan tubuh mempertahankan homeostasis glukosa agar kebutuhan energi sel tetap terpenuhi tanpa menyebabkan kondisi hiperglikemia maupun hipoglikemia.

2.2.4 Faktor yang mempengaruhi Gula Darah

Menurut (Damtie et al., 2025) variasi kadar gula darah individu dipengaruhi oleh beragam determinan yang mencakup karakteristik biologis serta pola perilaku seseorang, antara lain :

1. Aktivitas Fisik

Kurangnya aktivitas fisik menyebabkan energi (glukosa) tidak terbakar, sehingga kadar gula darah meningkat. Sebaliknya, aktivitas fisik rutin dapat meningkatkan sensitivitas insulin.

2. Pola Makan (Diet)

Konsumsi karbohidrat berlebih dan ketidakpatuhan terhadap jadwal makan (prinsip 3J: Jadwal, Jumlah, Jenis) sangat mempengaruhi kestabilan glukosa.

3. Berat Badan

Obesitas atau kelebihan berat badan meningkatkan risiko resistensi insulin, yang memicu kenaikan gula darah. Akumulasi lemak, terutama di hati, dapat memperburuk resistensi insulin. Obesitas juga meningkatkan sintesis adipokin/sitokin yang mengganggu sensitivitas insulin.

4. Faktor Psikologis

Stres dan kekhawatiran dapat memicu reaksi hormonal yang meningkatkan kadar gula darah.

5. Usia

Penambahan usia seringkali disertai dengan penurunan fungsi metabolik tubuh. Penurunan fungsi imun akibat penuaan dapat membuat seseorang lebih rentan terhadap gangguan metabolisme glukosa.

6. Masalah Insulin

Gangguan pada sintesis insulin, aksi insulin, atau keduanya dalam tubuh.

7. Obat-obatan

Terdapat jenis obat-obatan tertentu yang diketahui dapat mengubah metabolisme glukosa (sehingga pasien yang meminumnya dikeluarkan dari subjek penelitian ini).

2.2.5 Dampak Kadar Gula Darah tinggi pada Pasien TB Paru

Berdasarkan tinjauan (Byers & Guy, 2024) keberadaan kadar gula darah yang tinggi pada individu dengan Tuberkulosis (TB) memberikan implikasi serius terhadap perjalanan penyakitnya, yang meliputi:

1. Peluang hasil pemeriksaan BTA (smear) positif yang lebih tinggi. yang mencerminkan konsentrasi bakteri *Mycobacterium tuberculosis* yang lebih masif dan tingkat penularan yang lebih tinggi.
2. Adanya lesi kavitas (lubang pada jaringan paru) yang lebih luas pada pemeriksaan radiologi paru.
3. Risiko kegagalan pengobatan dan kekambuhan (*relapse*) yang lebih tinggi.
4. Peningkatan angka mortalitas (kematian) selama masa pengobatan dibandingkan pasien TB dengan gula darah normal. Sinergi negatif antara infeksi paru dan gula darah tinggi secara bermakna meningkatkan angka mortalitas (kematian) selama masa perawatan, menunjukkan bahwa kontrol glikemik sama pentingnya dengan pemberian obat anti-tuberkulosis (OAT)

2.2.6 Pengaruh OAT terhadap metabolisme glukosa

Meningkatnya kadar gula darah pada penderita tuberkulosis dapat disebabkan oleh berbagai faktor. Salah satunya adalah efek samping obat antituberkulosis seperti *rifampisin* dan *isoniazid* yang dapat mempengaruhi metabolisme gula dan menyebabkan hiperglikemia.

Rifampisin diketahui sebagai *inducer* kuat enzim sitokrom P450 di hati. Induksi enzim ini meningkatkan metabolisme berbagai hormon dan obat, termasuk obat antidiabetes oral, sehingga kadar obat penurun gula dalam darah dapat berkurang efektivitasnya. Akibatnya, pada pasien yang memiliki gangguan toleransi glukosa atau diabetes laten, kadar gula darah dapat meningkat dan memicu hiperglikemia. Selain itu, peningkatan aktivitas enzim hepatik juga dapat memengaruhi glukoneogenesis di hati, sehingga produksi glukosa endogen bertambah. Isoniazid dapat mengganggu metabolisme piridoksin (vitamin B6), yang berperan dalam berbagai jalur metabolisme, termasuk metabolisme karbohidrat. Defisiensi relatif piridoksin dapat memengaruhi fungsi sel β pankreas dan sekresi insulin. Beberapa laporan juga menunjukkan bahwa isoniazid dapat menyebabkan resistensi insulin ringan serta gangguan fungsi hati, yang pada akhirnya dapat memengaruhi keseimbangan kadar glukosa darah.

Kondisi hiperglikemia ini bisa merupakan manifestasi stres metabolik akibat infeksi kronis, atau bisa juga menandakan adanya gangguan toleransi glukosa yang belum terdiagnosis sebelumnya. Beberapa studi menyebutkan bahwa infeksi TBC dapat memicu peningkatan sementara kadar glukosa darah melalui mekanisme inflamasi dan resistensi insulin. Selain itu, penggunaan obat antituberkulosis seperti isoniazid dan rifampisin dalam jangka panjang juga berpotensi mempengaruhi metabolisme glukosa (Elsa et al., 2025).

2.2.7 Cara Mengontrol Gula Darah

Menurut (Sangadji, 2023) terdapat beberapa langkah kunci yang saling berkesinambungan untuk menjaga stabilitas gula darah agar tetap berada dalam rentang fisiologis yang optimal:

1. Aktivitas Fisik Rutin

Melakukan latihan fisik rutin (seperti jalan kaki, jogging, atau senam) selama 30–60 menit per sesi untuk meningkatkan pembakaran kalori.

2. Kepatuhan Diet (3J)

Mengatur Jadwal makan yang teratur, menjaga Jumlah porsi makan, dan memilih Jenis makanan yang tepat (tinggi serat dan protein tanpa lemak).

3. Manajemen Farmakologi

Mengonsumsi obat antidiabetik oral (seperti Metformin atau Sulfonilurea) atau menggunakan insulin sesuai aturan dokter.

4. Dukungan Keluarga

Perhatian dan dukungan keluarga sangat penting untuk memotivasi pasien agar patuh dalam pengobatan dan pola makan.

5. Pemeriksaan Rutin

Melakukan pemantauan kadar gula darah secara berkala untuk mendeteksi fluktuasi sedini mungkin

2.3 Konsep Dasar Tuberkulosis

2.3.1 Definisi Tuberkulosis

Tuberkulosis (TBC) adalah suatu penyakit kronik menular yang disebabkan oleh bakteri *Mycobacterium tuberculosis*. Bakteri ini berbentuk batang dan bersifat tahan asam sehingga sering dikenal dengan Basil Tahan Asam (BTA). Sebagian besar kuman TB sering ditemukan menginfeksi parenkim paru dan menyebabkan TB paru, namun bakteri ini juga memiliki kemampuan menginfeksi organ tubuh lainnya (TB ekstra paru) seperti pleura, ginjal, kelenjar limfe, tulang, sistem saraf pusat dan bahkan organ ekstra paru lainnya (Muzamil et al., 2025). Penyebaran bakteri penyebab tuberkulosis paru dapat terjadi melalui berbagai jalur, mulai dari paparan udara pada saluran pernapasan, sistem pencernaan, hingga kontak pada area kulit yang terluka maupun konsumsi makanan yang telah terpapar kuman dari penderita. Meski demikian, jalur utama infeksi umumnya berlangsung melalui sistem respirasi, yakni saat seseorang menghirup percikan renik (*droplet*) yang membawa basil TB dari individu yang terinfeksi. (Usman et al., 2024)

2.3.2 Etiologi Tuberkulosis

Mycobacterium tuberculosis adalah basil Gram-positif dan termasuk dalam kelompok bakteri tahan asam. Bakteri ini merupakan penyebab tuberkulosis pada manusia dan dianggap sebagai salah satu patogen manusia yang paling mudah beradaptasi. *Mycobacterium tuberculosis* merupakan bakteri penyebab utama tuberkulosis pada manusia dan termasuk dalam kelompok

Mycobacterium tuberculosis. Secara morfologi, bakteri ini berbentuk batang kecil (basil), tidak bergerak, tidak membentuk spora, serta bersifat aerob obligat sehingga lebih mudah berkembang pada jaringan dengan kadar oksigen tinggi, seperti bagian apikal paru. Salah satu karakteristik khas *Mycobacterium tuberculosis* adalah sifatnya sebagai basil tahan asam (Acid-Fast Bacilli), yang disebabkan oleh struktur dinding selnya yang kaya akan lipid, terutama asam mikolat. Struktur dinding sel yang tebal dan berlilin ini juga menyebabkan *Mycobacterium tuberculosis* lebih tahan terhadap kondisi lingkungan yang tidak menguntungkan serta relatif resisten terhadap beberapa antibiotik dan zat kimia (Mohammadnabi et al., 2024).

2.3.3 Faktor Risiko Tuberkulosis

Berdasarkan tinjauan (WHO, 2025) terdapat beberapa kondisi kesehatan dan faktor gaya hidup yang secara signifikan dapat meningkatkan kerentanan seseorang terhadap infeksi tuberkulosis. Faktor-faktor tersebut mencakup :

1. Gangguan metabolisme termasuk diabetes (gula darah tinggi).
2. Kondisi imunokompromais / sistem kekebalan tubuh yang melemah (misalnya, akibat HIV).
3. Malnutrisi kekurangan gizi.
4. Kebiasaan merokok/penggunaan tembakau.
5. Penggunaan alkohol yang berbahaya.
6. Orang yang kontak serumah dan kontak erat dengan pasien TBC
7. Orang dengan diabetes melitus (DM)

8. Bayi, anak-anak dan lansia yang memiliki interaksi dengan pasien TBC
9. Warga Binaan Pemasyarakatan (WBP)/Tunawisma/Pengungsi
10. Populasi rentan dan marjinal seperti pemukiman kumuh-padat dan kumuh-miskin

2.3.4 Manifestasi Klinis Tuberkulosis

Merujuk pada Buku Panduan Tenaga Medis dan Tenaga Kesehatan Tuberkulosis yang diterbitkan oleh (Kementrian Kesehatan, 2025) ada beberapa manifestasi klinis pada pasien TBC antara lain :

Gejala TBC pada orang Dewasa (≥ 15 tahun)

1. Batuk ≥ 2 minggu, atau
Segala bentuk batuk (berdahak atau tidak berdahak) tanpa melihat durasi dan disertai gejala atau tanda tambahan lainnya.
2. Gejala tambahan/lainnya yaitu nafsu makan menurun, berat badan menurun, lemah, letih, lesu, berkeringat malam hari tanpa kegiatan fisik, demam meriang hilang timbul tanpa sebab, batuk darah, sesak nafas.
3. Setiap orang dewasa dengan gejala tersebut di atas, dianggap sebagai seorang terduga TBC, dan perlu dilakukan pemeriksaan dahak ke fasilitas kesehatan terdekat untuk pemeriksaan dahak.

Gejala TBC pada anak (0-14 tahun)

1. Batuk ≥ 2 minggu. Batuk seringkali bukan gejala utama TBC pada anak.
2. Demam hilang timbul >2 minggu
3. Berat badan turun/ tidak naik dalam 2 bulan
4. Lesu/ malaise
5. Terduga TBC pada anak bila ditemukan salah satu gejala di atas, segera dirujuk ke fasilitas kesehatan.

Merujuk pada (WHO, 2025) manifestasi klinis yang sering muncul pada individu yang terinfeksi tuberkulosis meliputi:

1. Gangguan pernapasan berupa batuk yang berlangsung lama/batuk kronis (dapat disertai dahak berdarah).
2. Sensasi nyeri dada.
3. Adanya kelemahan.
4. Merasa Kelelahan.
5. Penurunan berat badan.
6. Demam
7. Keluarnya keringat pada waktu malam meskipun tidak melakukan aktivitas

2.3.5 Patofisiologi Tuberkulosis

Tuberkulosis terjadi ketika seseorang menghirup droplet yang mengandung bakteri *Mycobacterium tuberculosis*. Bakteri yang masuk melalui saluran pernapasan akan mencapai alveoli, yaitu kantung udara kecil di paru-paru yang menjadi tempat pertukaran oksigen. Di alveoli inilah bakteri mulai berkembang biak. Selain menetap di paru, bakteri juga dapat menyebar ke bagian tubuh lain seperti ginjal, tulang, korteks serebri, maupun ke bagian paru lain (terutama lobus atas) melalui sistem limfatik dan aliran darah. Masuknya bakteri akan memicu respons sistem imun berupa reaksi peradangan (inflamasi).

Sel fagosit, seperti makrofag, berusaha menelan dan menghancurkan bakteri. Selanjutnya, limfosit yang spesifik terhadap TB akan membantu menghancurkan bakteri, meskipun proses ini juga dapat merusak jaringan paru yang sehat. Reaksi peradangan tersebut menyebabkan penumpukan cairan dan sel radang (eksudat) di alveoli, yang dapat berkembang menjadi bronkopneumonia. Infeksi awal biasanya muncul dalam waktu 2–10 minggu setelah paparan bakteri. Pada tahap awal interaksi antara bakteri dan sistem imun, tubuh membentuk granuloma, yaitu kumpulan sel imun yang mengelilingi bakteri untuk membatasi penyebarannya. Granuloma terdiri atas bakteri hidup maupun mati yang dikelilingi makrofag dan sel imun lainnya. Seiring waktu, granuloma dapat berubah menjadi jaringan fibrosa. Bagian tengahnya dapat mengalami nekrosis kaseosa, yaitu kematian jaringan yang tampak seperti keju, yang dikenal sebagai fokus atau tuberkel Ghon. Setelah itu, jaringan dapat mengalami kalsifikasi dan membentuk jaringan kolagen, sementara bakteri berada dalam keadaan dorman (tidak aktif). Namun,

bila sistem kekebalan tubuh melemah atau respons imun tidak adekuat, infeksi dapat berkembang menjadi TB aktif.

Aktivasi juga bisa terjadi akibat infeksi ulang atau bangkitnya kembali bakteri dorman. Pada kondisi ini, tuberkel dapat pecah dan melepaskan bahan nekrotik ke dalam bronkus. Bakteri kemudian dapat keluar bersama droplet saat batuk dan menyebar melalui udara, sehingga meningkatkan risiko penularan. Proses penyembuhan dapat meninggalkan jaringan parut pada paru, tetapi kerusakan jaringan yang luas juga dapat menyebabkan peradangan lanjutan dan memperburuk kondisi paru (Mar'iyah & Zulkarnain, 2021).

2.3.6 Pemeriksaan Penunjang Tuberkulosis

Menurut (Kementrian Kesehatan Republik Indonesia, 2026) Penegakan diagnosis tuberkulosis (TB) dilakukan melalui serangkaian pemeriksaan klinis dan penunjang yang saling melengkapi. Pemeriksaan tersebut meliputi evaluasi bakteriologis, uji imunologis, pemeriksaan radiologis, serta pemeriksaan molekuler.

1. Pemeriksaan Dahak (BTA)

Pemeriksaan bakteriologis melalui analisis dahak merupakan metode awal untuk mendeteksi keberadaan *Mycobacterium tuberculosis*. Spesimen dahak dikumpulkan sebanyak dua kali dengan skema tertentu, yaitu metode Sewaktu–Sewaktu (SS) atau Sewaktu–Pagi (SP). Skema SS dilakukan dengan pengambilan dua sampel dahak pada hari yang sama saat pasien datang ke fasilitas pelayanan kesehatan, dengan jarak waktu minimal satu jam antar pengambilan. Adapun skema SP dilakukan dengan mengambil

satu sampel saat kunjungan pertama dan satu sampel lainnya pada pagi hari berikutnya segera setelah pasien bangun tidur. Sampel kemudian diperiksa untuk mengidentifikasi basil tahan asam (BTA) sebagai indikator infeksi TB aktif

2. Tes Tuberkulin

Uji tuberkulin digunakan sebagai pemeriksaan penunjang, terutama untuk mendeteksi adanya respons imun terhadap paparan bakteri TB. Prosedur ini dilakukan dengan menyuntikkan 0,1 ml purified protein derivative (PPD) secara intradermal pada bagian dalam lengan bawah. Reaksi kulit yang timbul kemudian dievaluasi dalam waktu tertentu untuk menilai ada tidaknya indurasi yang mengindikasikan paparan terhadap kuman TB, meskipun hasilnya tidak selalu menunjukkan penyakit aktif.

3. Rontgen Dada

Pemeriksaan radiologis berupa foto toraks dilakukan sebagai penunjang, terutama apabila hasil pemeriksaan dahak negatif tetapi gejala klinis seperti batuk kronis, demam lama, penurunan berat badan, dan keringat malam tetap mengarah pada dugaan TB. Gambaran radiologis yang sering ditemukan pada TB paru meliputi adanya infiltrat atau bercak opasitas di lapangan paru, terutama pada segmen atas atau apeks paru, kavitas (rongga akibat kerusakan jaringan paru), fibrosis, maupun pembesaran kelenjar getah bening hilus. Pada beberapa kasus, dapat pula terlihat konsolidasi atau gambaran milier berupa nodul-nodul kecil yang tersebar merata di kedua paru. Meskipun temuan radiologis tersebut dapat

memperkuat kecurigaan terhadap TB, hasil rontgen tidak bersifat spesifik karena beberapa penyakit paru lain dapat menunjukkan gambaran serupa. Oleh karena itu, interpretasi hasil harus dikaitkan dengan temuan klinis dan pemeriksaan laboratorium lainnya.

4. Tes Cepat Molekuler (TCM)

Tes Cepat Molekuler merupakan metode diagnostik utama dalam program pengendalian TB karena mampu mendeteksi materi genetik *Mycobacterium tuberculosis* secara lebih sensitif dan spesifik. Selain mengidentifikasi keberadaan kuman, pemeriksaan ini juga dapat mendeteksi resistensi terhadap obat tertentu dalam waktu yang relatif singkat, sehingga membantu menentukan strategi terapi yang tepat.

2.3.7 Penatalaksanaan Tuberkulosis

Penatalaksanaan untuk Penyakit Tuberkulosis terbagi atas 2 kategori yaitu penatalaksanaan secara farmakologis dan non-farmakologi :

1. Farmakologi

Pengobatan utama TBC adalah dengan menggunakan kombinasi beberapa jenis antibiotik yang dikenal sebagai Obat Anti Tuberkulosis (OAT). OAT biasanya terdiri dari empat jenis obat utama: Rifampisin, Isoniazid, Pirazinamid, dan Etambutol (Kementrian Kesehatan, 2025).

1) Rimpafisin

Obat ini merupakan antibiotik golongan bakterisidal (pembunuh bakteri) yang sangat kuat. Rifampisin bekerja dengan cara menghambat aktivitas enzim RNA polimerase pada bakteri, sehingga

bakteri *Mycobacterium tuberculosis* tidak dapat melakukan replikasi dan akhirnya mati.

2) Isoniazid

Isoniazid adalah komponen kunci dalam terapi TBC yang bekerja dengan cara menghambat sintesis asam mikolat. Karena asam mikolat adalah unsur penting pembentuk dinding sel bakteri, gangguan pada proses ini menyebabkan dinding sel bakteri menjadi rusak dan kuman akan mati.

3) Pirazinamid

Obat ini memiliki kemampuan unik untuk membunuh kuman TBC yang bertahan di dalam sel tubuh dengan kondisi lingkungan asam (seperti di dalam makrofag). Pirazinamid sangat efektif diberikan pada tahap awal pengobatan (fase intensif) untuk mempercepat proses sterilisasi kuman.

4) Etambutol

Berbeda dengan Rifampisin atau Isoniazid, Etambutol bekerja sebagai agen bakteristatik, yaitu menghambat pertumbuhan dan perkembangan bakteri. Fungsi utamanya adalah untuk mendampingi obat lain guna mencegah timbulnya resistensi (kekebalan) bakteri terhadap obat-obatan utama lainnya.

5) Penggunaan Nebulizer

Nebulizer dapat digunakan sebagai terapi tambahan (adjuvan) untuk mengatasi gejala. Pada pasien TB paru yang mengalami produksi

sekret berlebihan, bronkospasme, atau sesak napas, nebulizer dapat diberikan untuk menghantarkan obat bronkodilator (misalnya golongan beta-agonis) atau mukolitik guna membantu melebarkan saluran napas dan mengencerkan dahak.

2. Non Farmakologi

Selain OAT, penatalaksanaan pada pasien TB juga dapat dilakukan dengan metode non farmakologi, antara lain :

1) Terapi pernapasan dan latihan fisik (mis. *Breathing Control*, *Segmental Breathing*, *Coughing*)

Latihan pernapasan seperti *breathing control*, *segmental breathing*, dan batuk efektif bertujuan memperbaiki ventilasi paru serta membantu pengeluaran sekret. Teknik ini membantu mengurangi sesak napas dan meningkatkan ekspansi paru yang terganggu akibat proses infeksi. Latihan fisik ringan yang dilakukan bertahap juga berperan meningkatkan daya tahan tubuh, kekuatan otot, dan kualitas hidup pasien selama masa pengobatan (Mansiz et al., 2025).

2) Terapi Relaksasi Benson untuk mengurangi nyeri dada

Relaksasi Benson merupakan teknik pengaturan napas disertai fokus pada kata atau frasa tertentu untuk memicu respons relaksasi. Pada pasien TB paru, metode ini dapat menurunkan ketegangan otot dan kecemasan sehingga membantu mengurangi intensitas nyeri dada akibat batuk berkepanjangan. Teknik ini sederhana, aman, dan dapat

dilakukan secara mandiri sebagai terapi pendukung (Simamora & Nurani, 2024).

3) Perilaku menjaga kebersihan diri dan rumah

Perilaku hidup bersih seperti memakai masker, menutup mulut saat batuk, serta mencuci tangan secara teratur penting untuk mencegah penularan TB. Kondisi rumah juga berperan besar, terutama ventilasi, pencahayaan, dan tingkat kelembaban. Rumah dengan ventilasi baik dan paparan sinar matahari cukup dapat membantu menurunkan jumlah kuman di udara. Kelembaban yang terlalu tinggi dapat menciptakan lingkungan yang mendukung pertumbuhan mikroorganisme dan memperpanjang daya tahan bakteri di udara. Oleh karena itu, menjaga kelembaban rumah tetap ideal (tidak lembap) melalui sirkulasi udara yang baik sangat penting dalam mendukung pemulihan pasien sekaligus mencegah penularan (Gurusinga, 2025).

4) Pengaturan pola makan/ diet untuk mendukung status gizi pasien TB

Status gizi yang baik sangat berpengaruh terhadap kemampuan sistem imun dalam melawan infeksi *Mycobacterium tuberculosis*. Pasien TB sering mengalami penurunan berat badan dan kehilangan nafsu makan, sehingga diperlukan pengaturan pola makan yang adekuat. Diet yang dianjurkan umumnya tinggi kalori dan protein untuk membantu perbaikan jaringan serta mencegah penurunan massa otot. Selain makronutrien, asupan vitamin dan mineral seperti vitamin

A, C, D, zat besi, dan seng juga penting untuk mendukung respons imun. Pengaturan jadwal makan yang teratur dan pemantauan berat badan secara berkala membantu memastikan kebutuhan nutrisi terpenuhi selama masa pengobatan. Dengan status gizi yang optimal, efektivitas terapi dapat meningkat dan proses penyembuhan berlangsung lebih baik (Larasati et al., 2025).

2.4 Hubungan Kadar Hemoglobin (Hb) dengan Kadar Gula Darah Sewaktu (GDS) pada Pasien TB Paru

Infeksi Tuberkulosis (TB) yang disebabkan oleh *Mycobacterium tuberculosis* merupakan penyakit kronis yang tidak hanya berdampak pada sistem respirasi, tetapi juga memengaruhi sistem hematologi dan metabolik secara sistemik. Respons inflamasi kronis yang terjadi pada pasien TB paru dapat mengganggu proses eritropoiesis di sumsum tulang, sehingga menyebabkan penurunan kadar hemoglobin (Hb). Kondisi ini sering dikenal sebagai anemia akibat penyakit kronis, yang ditandai dengan gangguan pemanfaatan zat besi dan hambatan maturasi eritrosit akibat peningkatan sitokin proinflamasi (Mustopa et al., 2023). Di sisi lain, infeksi TB juga dapat memicu stres metabolik yang menyebabkan peningkatan kadar gula darah sewaktu (GDS), baik melalui mekanisme resistensi insulin maupun peningkatan produksi hormon stres seperti kortisol (Byers & Guy, 2024).

Hubungan antara kadar Hb dan GDS pada pasien TB paru dapat dijelaskan melalui mekanisme patofisiologis yang saling berkaitan. Hiperglikemia yang terjadi pada pasien TB berkontribusi terhadap penurunan fungsi imun seluler, termasuk gangguan aktivitas makrofag dan limfosit dalam mengendalikan infeksi. Kondisi

ini dapat memperberat proses inflamasi kronis yang pada akhirnya semakin menghambat pembentukan sel darah merah dan memperparah anemia (Rahman et al., 2022). Dengan demikian, peningkatan kadar gula darah dapat berasosiasi dengan penurunan kadar hemoglobin melalui mekanisme inflamasi dan gangguan metabolisme zat besi.

Sebaliknya, kadar hemoglobin yang rendah juga dapat memengaruhi kondisi metabolik pasien TB. Anemia menyebabkan penurunan kapasitas pengangkutan oksigen ke jaringan, sehingga sel-sel tubuh mengalami hipoksia relatif. Keadaan hipoksia dapat memicu peningkatan produksi hormon stres dan aktivasi sistem neuroendokrin yang berdampak pada peningkatan glukoneogenesis di hati. Proses ini berpotensi meningkatkan kadar glukosa darah sewaktu, terutama pada pasien yang telah mengalami gangguan toleransi glukosa sebelumnya (Awalia et al., 2024). Oleh karena itu, anemia dan hiperglikemia pada pasien TB tidak berdiri sendiri, melainkan saling memengaruhi melalui mekanisme inflamasi dan stres metabolik.

Selain faktor patofisiologis, terapi Obat Anti Tuberkulosis (OAT) juga berperan dalam memengaruhi kedua parameter tersebut. Penggunaan Isoniazid dan Rifampisin dalam jangka panjang dilaporkan dapat menyebabkan hemolisis atau gangguan metabolisme eritrosit, sehingga menurunkan kadar hemoglobin (Pongsimpin et al., 2024). Pada saat yang sama, beberapa studi menunjukkan bahwa OAT tertentu dapat memengaruhi metabolisme karbohidrat dan berkontribusi terhadap peningkatan kadar glukosa darah (Elsa et al., 2025). Kombinasi efek infeksi kronis dan terapi farmakologis ini memperkuat kemungkinan adanya

hubungan antara kadar Hb dan GDS pada pasien TB paru yang menjalani pengobatan.

Berdasarkan uraian tersebut, dapat disimpulkan bahwa terdapat keterkaitan teoritis antara kadar hemoglobin dan kadar gula darah sewaktu pada pasien TB paru. Proses inflamasi kronis, stres metabolik, gangguan eritropoiesis, resistensi insulin, serta efek samping terapi berperan sebagai faktor yang menghubungkan kedua variabel tersebut. Hubungan ini menjadi penting untuk diteliti lebih lanjut guna mengetahui apakah perubahan kadar Hb berkorelasi secara signifikan dengan fluktuasi GDS pada pasien TB paru yang menjalani pengobatan, sehingga dapat mendukung pemantauan klinis yang lebih komprehensif dan meningkatkan keberhasilan terapi

2.5 Jurnal yang Relevan

Tabel 2. 3 Jurnal yang Relevan Hubungan Kadar Hemoglobin (Hb) dengan Kadar Gula Darah Seaktu (GDS) pada Pasien TB Paru

No	Judul, Author, Tahun	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
1.	Analysis of Types and Causes of Anemia Based on Hemoglobin Levels and Erythrocytes Values in New Pulmonary Tuberculosis Patients at Dasan Tapen Health Center (Ramdhani et al., 2024)	D : <i>observasional analitik</i> S : 24 responden, teknik <i>purposive sampling</i> V : Kadar hemoglobin, eritrosit pada pasien TBC. I : Data primer Data didapat dari pemeriksaan Hb dengan Hematology Analyzer, Data rekam medis pasien A : <i>Chi-Square</i>	Pada penelitian ini didapatkan hasil dari 24 sampel penderita tuberkulosis sebanyak 5 orang (21%) dengan derajat anemia ringan sekali, 16 (67%) orang dengan derajat anemia ringan dan 3 orang (12%) dengan derajat anemia sedang. Sebanyak 18 orang (75%) dengan jenis anemia mikrositik dan 6 (25%) orang dengan jenis anemia normositik yang menandakan penderita

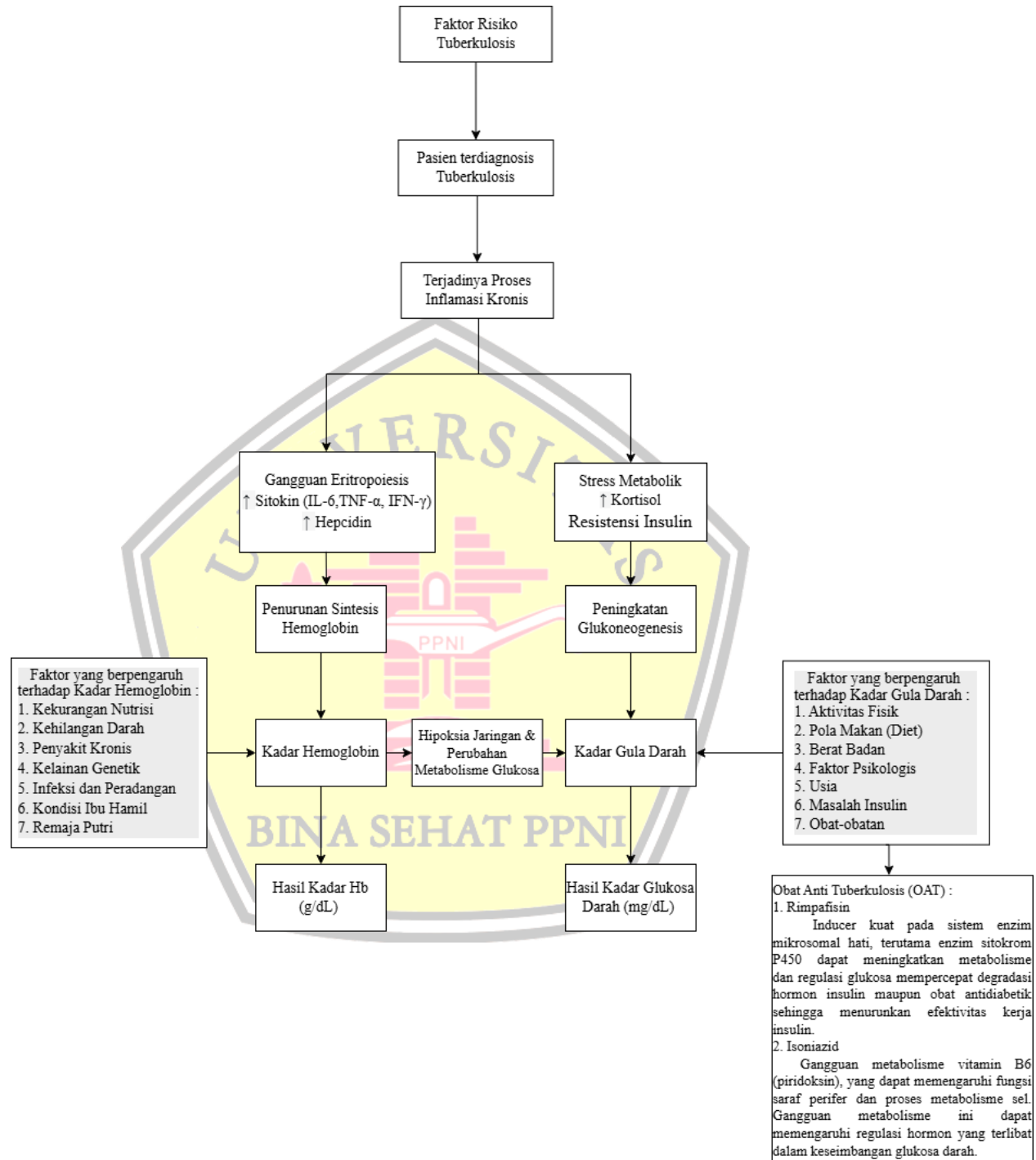
			tuberkulosis mengalami mikrositik.	tersebut anemia
2.	Faktor Terjadinya pada Tuberculosis dalam Pengobatan (Rosidah et al., 2024)	Risiko Anemia Pasien Paru Fase	D : desain observasional analitik retrospektif dengan pendekatan case control S : 34 responden, teknik <i>total sampling</i> V : Variabel dependen: Kejadian anemia pada pasien TB paru Variabel independen: Kadar hemoglobin, Usia, Jenis kelamin I : Data didapat dari pemeriksaan Hb dengan Hematology Analyzer, Data rekam medis pasien, dan lembar observasi penelitian A : Analisis deskriptif (univariat), analisis inferensial (bivariat), dan analisis risiko (Odds Ratio).	Terdapat hubungan signifikan antara: Kadar hemoglobin dengan kejadian TB paru ($p = 0,003$) Usia dengan kejadian TB paru ($p = 0,000$) Jenis kelamin dengan kejadian TB paru ($p = 0,000$) Faktor risiko terbesar terjadinya anemia pada pasien TB paru adalah: Jenis kelamin dengan nilai risiko 3,429 Diikuti oleh kadar hemoglobin dengan risiko 0,370.
3.	The Effect of Intensive Phase of Anti Tuberculosis Drugs With Hemoglobin Levels in Tuberculosis Patients in Kupang City (Come et al., 2023).		D : Quasy-Experimental One Group Pretest and Post Test dengan pendekatan pre-post (before-after study) S : 48 responden, consecutive sampling V : Variabel independen: Fase intensif pengobatan anti tuberkulosis (OAT) Variabel dependen: Kadar hemoglobin (Hb) pasien TB I : Data kadar hemoglobin darah menggunakan alat laboratorium HB Meter	Hasil analisis data perubahan kadar hemoglobin sebelum dan sesudah terapi OAT fase intensif menunjukkan nilai signifikansi $p = 0,003$ ($p < 0,05$) dengan mean Hb 0.88 gr/dl Kesimpulan : Terdapat pengaruh pemberian terapi anti tuberkulosis fase intensif terhadap kadar hemoglobin pada penderita tuberkulosis di Kota Kupang.

		Lembar observasi dan data rekam medis pasien A : uji statistik komparatif (uji <i>paired t-test</i>)	
4.	Pengaruh Lamanya Pengobatan Terhadap Profil Darah pada Penderita Tuberkulosis Paru di Puskesmas Oesapa (Susilawati et al., 2023)	D : Observasional analitik dengan pendekatan <i>Cross Sectional</i> S : 20 responden, <i>non probability sampling</i> dengan menggunakan pendekatan <i>purposive sampling</i>. V : Variabel independen: Lamanya pengobatan tuberkulosis (sebelum pengobatan, 2 bulan, dan 6 bulan pengobatan). Variabel dependen: Profil darah yang meliputi kadar hemoglobin (Hb), gula darah sewaktu (GDS), dan asam urat pada penderita TB paru. I : Data Primer diambil secara langsung melalui observasi dan wawancara. Pemeriksaan gula darah, hemoglobin, dan asam urat menggunakan metode POCT A : uji anova friedman	Kadar hemoglobin, gula darah sewaktu dan asam urat sebelum, 2 bulan dan 6 bulan pengobatan menunjukkan nilai $p < 0,05$ bahwa data tidak berdistribusi normal. Hasil analisis dengan uji anova friedman menunjukkan nilai $p (0,137) > 0,05$. Hal ini berarti tidak ada perbedaan nilai ukur asam urat sebelum, 2 bulan dan 6 bulan pengobatan. Hasil analisis dengan uji anova friedman menunjukkan nilai $p (0,142) > 0,05$. Hal ini berarti tidak ada perbedaan nilai ukur Gula Darah Sewaktu sebelum, 2 bulan dan 6 bulan pengobatan. Hasil analisis dengan uji anova friedman menunjukkan nilai $p (0,378) > 0,05$. Hal ini berarti tidak ada perbedaan nilai ukur Hb sebelum, 2 bulan dan 6 bulan pengobatan.
5.	The Association of Pulmonary Tuberculosis, Abnormal Glucose Tolerance, and Type 2 Diabetes Mellitus (Jayashankar et al., 2021)	D : Cross-sectional analitik S : 93 responden, <i>consecutive sampling</i> V : status glikemik (kadar glukosa darah dan HbA1c) I : data primer berupa pemeriksaan kadar	Hasil analisis data menunjukkan bahwa dari 93 pasien TB paru, sebanyak 47,3% mengalami abnormalitas glukosa (IGT dan T2DM). Analisis hubungan antara status glikemik dengan derajat

glukosa darah (OGTT) dan HbA1c melalui pemeriksaan laboratorium, data sekunder berupa hasil pemeriksaan sputum BTA dan rekam medis pasien TB paru.	sputum BTA menunjukkan nilai signifikansi $p = 0,443$ ($p > 0,05$), dan hubungan kadar HbA1c dengan tingkat keparahan TB menunjukkan $p = 0,575$ ($p > 0,05$). Tidak terdapat hubungan yang signifikan antara status glikemik maupun kadar HbA1c dengan tingkat keparahan tuberkulosis paru
--	---

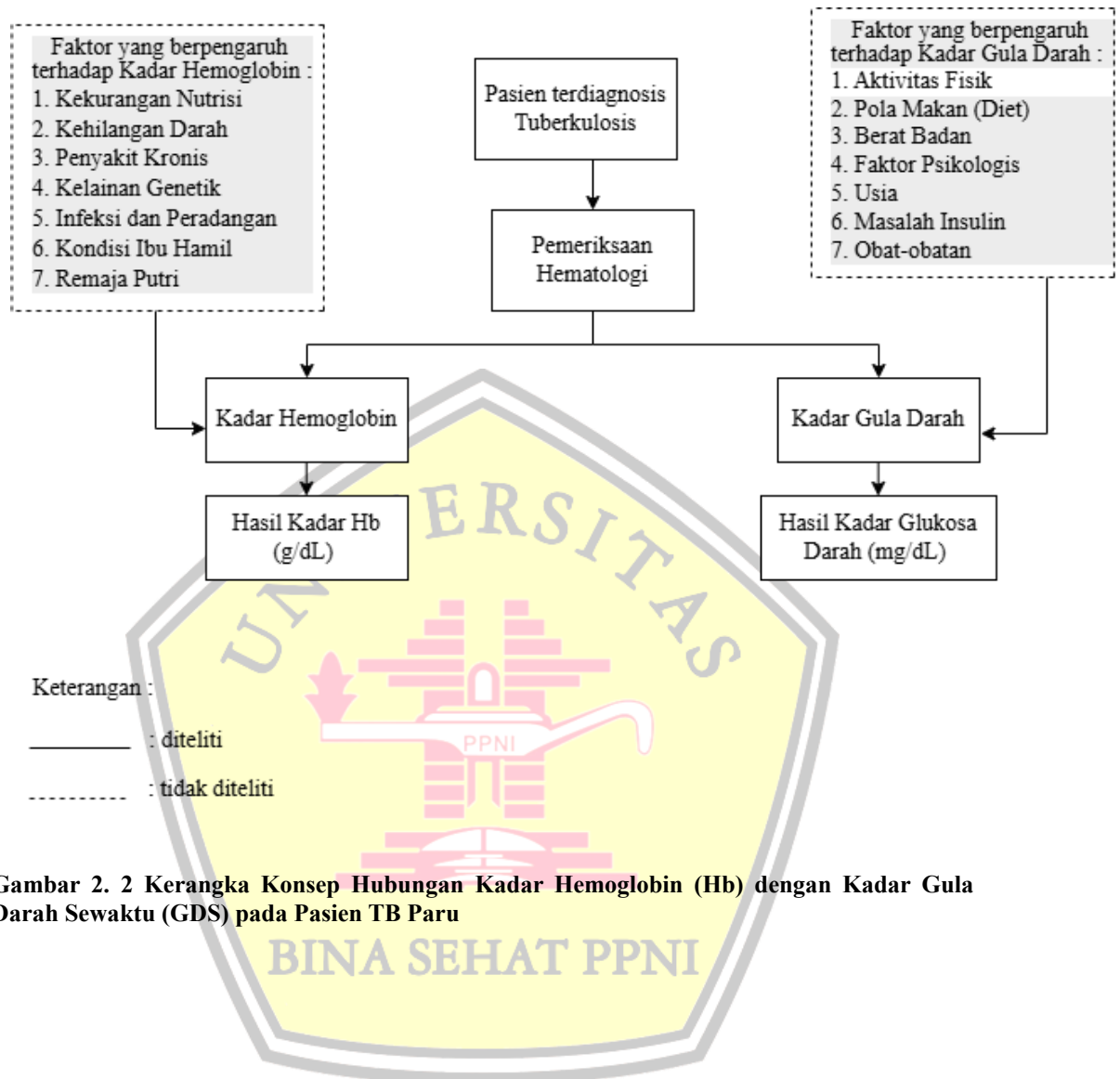


2.6 Kerangka Teori



Gambar 2. 1 Kerangka Teori Hubungan Kadar Hemoglobin (Hb) dengan Kadar Gula Darah Sewaktu (GDS) pada Pasien TB Paru

2.7 Kerangka Konseptual



2.8 Hipotesis

Hipotesis Nol (H_0): Tidak terdapat hubungan antara kadar hemoglobin (Hb) dengan kadar gula darah sewaktu (GDS) pada pasien TB paru yang menjalani pengobatan di UPTD Puskesmas Pacet.

Hipotesis Alternatif (H_1): Terdapat hubungan antara kadar hemoglobin (Hb) dengan kadar gula darah sewaktu (GDS) pada pasien TB paru yang menjalani pengobatan di UPTD Puskesmas Pacet.

