

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. DARAH

1. Pengertian Darah

Darah merupakan salah satu dari dua jenis cairan ekstraseluler selain cairan interstisial yang berada di antara sel-sel tubuh. Cairan darah berperan dalam sistem tertutup yang berfungsi mengangkut zat gizi dan berbagai zat penting lain yang dibutuhkan oleh sel, serta membawa hasil sisa metabolisme untuk dikeluarkan dari tubuh (Siahaan & Nasution, 2025). Fungsi vital darah meliputi pendistribusian oksigen melalui hemoglobin dalam sel darah merah, penyetabil pH atau asam-basa tubuh, dan pengangkutan sisa-sisa metabolisme keluar dari jaringan. (Dumiri *et al.*, 2024).

Darah memiliki jaringan yang sangat khusus, tersusun atas berbagai jenis sel serta komponen plasma (Tamang *et al.*, 2022). Darah umumnya dianalisis dalam bentuk plasma atau serum. Serum merupakan cairan biologis yang diperoleh setelah darah utuh mengalami proses pembekuan. Proses koagulasi berperan penting untuk mencegah kehilangan darah berlebih akibat luka kecil. Di laboratorium, darah yang telah membeku kemudian disentrifugasi sehingga gumpalan darah mengendap di dasar tabung, sementara cairan bening di bagian atasnya disebut serum (Kiseleva *et al.*, 2022).

Secara umum, setiap orang memiliki sekitar 70 mililiter darah untuk setiap kilogram berat badannya. Dari keseluruhan darah tersebut, sekitar 50-60% merupakan bagian cairan, sedangkan sisanya terdiri atas sel-sel darah (Dumiri *et al.*, 2024). Darah terbagi menjadi dua komponen, yaitu bagian padat dan bagian cair. Bagian padat mencakup sekitar 45% dari total volume darah, dengan sel darah merah yang mengendap sebanyak 40% hingga 47%, yang disebut korpuskula. Sedangkan sekitar 55% lainnya merupakan cairan berwarna kekuningan yang berperan sebagai media pengangkut dalam darah, dikenal dengan sebutan plasma darah (Supriyono, 2022).

2. Sel Darah Merah (Eritrosit)

Didefinisikan sebagai sel tak berinti berbentuk bikonkaf yang imobil, eritrosit memperoleh warna merah khasnya akibat tingginya akumulasi hemoglobin pada bagian sitoplasma (Singh *et al.*, 2024). Sel ini merupakan yang paling banyak terdapat dalam tubuh, dengan jumlah sekitar 4,5 hingga 5 juta per milimeter kubik darah (Haiti *et al.*, 2021).

Berbeda dari sebagian besar sel lainnya, sel darah merah tidak memiliki struktur internal yang kompleks seperti inti sel atau mitokondria, sehingga ruang di dalamnya lebih banyak digunakan untuk menyimpan hemoglobin, yaitu protein yang berfungsi mengangkut oksigen (Himbert & Rheinstädter, 2022). Perannya dalam mengangkut oksigen sangat erat kaitannya dengan sistem kardiovaskular. Karena itu, sel darah merah memiliki kemampuan untuk menyesuaikan aliran darah di berbagai area tubuh sesuai dengan kebutuhan oksigen pada jaringan tersebut (Kumar *et al.*, 2025). Selain sebagai pengangkut

oksigen, eritrosit juga berperan dalam mengeluarkan karbon dioksida, menjaga keseimbangan pH darah, mengatur kekentalan darah, menentukan golongan darah, serta menjalankan berbagai fungsi penting lainnya (Singh *et al.*, 2024).

Sel darah merah, melalui tiga proses utama dalam siklus hidupnya, yaitu tahap pembentukan, pematangan, dan penghancuran. Umur eritrosit rata-rata sekitar 120 hari, kemudian sel-sel yang telah rusak atau menua akan dihancurkan oleh limpa dan hati, sementara komponen-komponennya akan didaur ulang. Ukuran sel darah merah yang kecil, dengan diameter sekitar 7-8 mikrometer, memungkinkan sel ini melintasi kapiler yang sempit dengan mudah. Membran selnya mengandung berbagai jenis protein, seperti glikoforin, yang berfungsi menjaga kestabilan struktur sel serta berperan dalam proses pengelompokan hemoglobin. Penyakit yang menyerang sel darah merah meliputi berbagai kondisi yang mempengaruhi proses pembentukan, fungsi, maupun masa hidup sel darah merah. Sebagian diantaranya disebabkan oleh gangguan metabolisme bawaan, sedangkan lainnya berkaitan dengan kelainan pada jumlah atau struktur kromosom (Singh *et al.*, 2024).

3. Fungsi Darah

Darah memiliki fungsi multikompleks dalam mendukung kelangsungan hidup. Perannya tidak terbatas pada sistem transportasi fisiologis, tetapi juga mencakup perlindungan imunitas dan regulasi keseimbangan internal (homeostasis) tubuh secara menyeluruh, yaitu:

- a. Darah berfungsi sebagai sistem transportasi utama yang mengedarkan oksigen, karbon dioksida, nutrisi, hormon, enzim, serta produk

metabolik ke seluruh jaringan tubuh. Selain itu, darah juga membawa imunoglobulin yang berperan penting dalam sistem pertahanan tubuh terhadap mikroorganisme patogen dan zat asing.

- b. Darah berperan penting dalam sistem pertahanan tubuh melalui mekanisme seperti hemostasis, yaitu penghentian perdarahan dengan pembentukan bekuan darah oleh trombosit. Selain itu, darah mengandung leukosit yang berfungsi dalam respon imun spesifik dan nonspesifik, serta sistem fagositik yang menghancurkan mikroba dan sel rusak. Darah juga membawa imunoglobulin sebagai antibodi yang melindungi tubuh dari mikroorganisme patogen dan zat asing.
- c. Darah berperan penting dalam menjaga homeostasis tubuh dengan mengatur suhu, keseimbangan cairan dan elektrolit, serta pH darah agar fungsi sel tetap optimal. Selain itu, darah menjadi media komunikasi antar organ melalui pengangkutan hormon dan sinyal kimia untuk menjaga koordinasi fungsi fisiologis tubuh.

Dengan demikian, darah bukan hanya sekedar cairan yang mengalir di dalam tubuh, tetapi merupakan sistem biologis yang kompleks dan terintegrasi, yang memastikan seluruh proses kehidupan dapat berjalan secara seimbang dan efisien (Dumiri *et al.*, 2024).

4. Kelainan Darah

Penjelasan tentang darah mencakup kondisi normal dan berbagai kelainan, baik bawaan maupun didapat, yang dapat memengaruhi fungsi fisiologis tubuh. Jika tidak ditangani dengan tepat, kelainan darah dapat

menyebabkan komplikasi serius seperti gangguan pembekuan, penurunan kemampuan mengangkut oksigen, dan peningkatan risiko infeksi berulang (Ariani Resti *et al.*, 2025). Beberapa jenis kelainan atau gangguan darah yang sering terjadi, yaitu :

- a. Anemia adalah masalah medis yang sering dijumpai, ditandai dengan penurunan massa eritrosit yang mengakibatkan berkurangnya kemampuan darah mengangkut oksigen ke jaringan. Salah satu jenis yang umum adalah anemia defisiensi besi, yaitu anemia akibat kekurangan zat besi untuk eritropoesis karena cadangan besi tubuh menipis. Kekurangan ini mengganggu pembentukan hemoglobin, komponen utama pengangkut oksigen. Kebutuhan zat besi seharusnya dipenuhi dari nutrisi, namun jika keseimbangannya terganggu, produksi eritrosit akan menurun dan kadar hemoglobin rendah sehingga pengangkutan oksigen menjadi tidak efektif (Widiada, 2020). Apabila tidak ditangani dengan baik, anemia dapat mengakibatkan kelelahan berkepanjangan serta menurunkan kualitas hidup penderitanya (Ariani Resti *et al.*, 2025).
- b. Leukemia adalah kanker yang menyerang jaringan pembentuk darah, terutama darah dan sumsum tulang yang memproduksi sel darah. Penyakit ini ditandai oleh peningkatan abnormal sel darah putih belum matang (sel blas) yang menghambat pembentukan sel darah sehat, sehingga menurunkan jumlah sel darah putih, merah, dan trombosit. Berdasarkan tingkat keganasan dan jenis sel terdampak, kanker darah

terbagi menjadi empat tipe dominan: Leukemia Limfoblastik Akut (LLA), Leukemia Mieloid Akut (LMA), Leukemia Limfositik Kronis (LLK), serta Leukemia Mieloid Kronis (LMK). Gejalanya meliputi demam, penurunan berat badan tanpa sebab, mudah memar, dan pendarahan akibat gangguan pembekuan darah. Pengobatannya mencakup kemoterapi, terapi radiasi, dan transplantasi sel punca. Kemoterapi membunuh sel kanker dengan obat-obatan, radiasi menghancurkan sel kanker tersisa, sedangkan transplantasi mengganti sumsum tulang rusak dengan sel punca sehat agar tubuh kembali memproduksi sel darah normal (Paris, 2023).

- c. **Thalasemia** adalah kelainan darah turunan akibat berkurangnya atau tidak terbentuknya hemoglobin normal (Amjad *et al.*, 2020). Kondisi ini terjadi karena ketidakseimbangan rantai globin alfa dan beta akibat penurunan produksi gen globin, yang menyebabkan eritropoiesis tidak efektif atau hemolisis, berujung pada anemia dan hematopoiesis ekstrasmedular. Thalasemia Beta umumnya disebabkan mutasi titik, sedangkan Thalasemia Alfa oleh mutasi deleksi atau missense yang mempengaruhi fungsi dan kestabilan hemoglobin (Aksu & Ünal, 2021). Gejalanya meliputi penumpukan zat besi akibat transfusi berulang yang dapat merusak hati dan jantung, kelainan bentuk tulang, serta pembesaran limpa (*splenomegali*) akibat infeksi, gangguan hati, atau akumulasi sel darah rusak. Terapi utama thalasemia adalah transfusi darah, namun tindakan ini dapat menimbulkan penumpukan zat besi

yang tidak dapat dikeluarkan tubuh, menjadi penyebab utama kematian pada penderita thalasemia (Jabbar et al., 2023).

Kelainan atau gangguan darah perlu segera diperiksa, karena pemeriksaan darah merupakan langkah krusial untuk menilai jumlah dan kondisi sel-sel darah, mendeteksi kelainan morfologi, serta mengevaluasi penanda spesifik yang menunjukkan adanya gangguan atau penyakit tertentu. Dengan melalui pemeriksaan ini, kelainan darah dapat teridentifikasi lebih dini, sehingga penanganan dan pencegahan komplikasi dapat dilakukan secara lebih efektif (Hedrry, 2023).

B. HEMOGLOBIN

1. Pengertian Hemoglobin

Sel darah merah mengandalkan hemoglobin sebuah protein pembawa ion besi (Fe^{2+}) yang tersusun atas empat rantai polipeptida dan gugus heme untuk mendistribusikan oksigen ke seluruh tubuh serta membawa karbon dioksida kembali ke paru-paru (Devi et al., 2023; Suryati et al., 2021). Kemampuan molekul ini dalam mengikat O_2 secara fleksibel sekaligus menetralkan ion hidrogen (H^+) menjadikannya krusial dalam menjaga kestabilan pH dan sistem pernapasan tubuh (Devi et al., 2023).

2. Fungsi Hemoglobin

Hemoglobin pada eritrosit mengikat oksigen dari paru-paru untuk disalurkan ke jaringan tubuh, lalu membawa karbon dioksida sisa metabolisme kembali ke paru-paru untuk dibuang. Dengan demikian, hemoglobin berperan

penting dalam menjaga keberlangsungan proses respirasi seluler dan memastikan suplai energi bagi aktivitas tubuh tetap optimal.

Apabila kadar hemoglobin dalam darah menurun hingga dibawah ambang normal, yaitu 12 g/dL, kemampuan darah untuk mengikat dan mengangkut oksigen ke jaringan akan berkurang. Kondisi ini berdampak pada berkurangnya oksigenasi jaringan, sehingga tubuh mengalami penurunan kapasitas fungsional. Akibatnya, seseorang dapat mengalami gejala seperti cepat lelah, penurunan daya tahan fisik, serta sesak napas meskipun hanya melakukan aktivitas ringan. Keadaan ini dikenal sebagai anemia, yaitu gangguan hematologis yang ditandai oleh penurunan kadar hemoglobin atau jumlah eritrosit, yang menyebabkan distribusi oksigen ke seluruh jaringan tubuh menjadi tidak efektif (Putri *et al.*, 2021).

3. Nilai Normal Kadar Hemoglobin

Kadar hemoglobin normal pada perempuan adalah >12 g/dL dan pada laki-laki batas normalnya lebih tinggi, yaitu >13 g/dL (Saraswati, 2021). Perbedaan ini dipengaruhi oleh berbagai faktor, salah satunya adalah berdasarkan jenis kelaminnya (Saraswati, 2021).

4. Faktor Yang Mempengaruhi Kadar Hb

Kadar hemoglobin seseorang dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor yang berkaitan dengan kondisi fisiologis, lingkungan, serta status gizi individu.

Berikut penjelasannya :

- a. Usia.

Seiring bertambahnya usia, kadar hemoglobin cenderung menurun akibat berkurangnya aktivitas metabolik dan penurunan kemampuan sumsum tulang dalam memproduksi eritrosit.

b. Jenis Kelamin.

Pria lebih tinggi (pengaruh androgen); wanita lebih rendah (dampak menstruasi & kebutuhan zat besi).

c. Kondisi Geografis.

Dataran tinggi lebih tinggi dibanding pesisir akibat adaptasi terhadap hipoksia (rendah oksigen).

d. Asupan Nutrisi.

Zat besi mendukung pembentukan hemoglobin, mioglobin, dan enzim seluler (sitokrom, katalase, peroksidase).

e. Status Kesehatan.

Kesehatan umum dan bebas penyakit kronis menjaga kestabilan kadar hemoglobin (Pratama, 2023). Kecukupan zat gizi dan peran zat besi. Zat besi tidak hanya penting dalam pembentukan hemoglobin, tetapi juga berperan dalam sintesis mioglobin pada jaringan otot serta menjadi komponen enzim respirasi seluler seperti sitokrom, katalase, peroksidase, dan flavoprotein. Enzim-enzim tersebut berfungsi dalam proses oksidasi yang menghasilkan adenosin trifosfat sebagai sumber energi utama sel. Meskipun total zat besi dalam tubuh hanya sekitar 0,004% dari berat badan, sebagian besar berperan penting dalam mioglobin dan enzim oksidatif, menjadikan zat besi unsur vital bagi

transportasi oksigen dan produksi energi. Oleh karena itu, kecukupan zat besi dari asupan makanan sangat diperlukan untuk mempertahankan kadar hemoglobin normal serta mencegah anemia defisiensi besi (Syariena, 2022).

5. Dampak Rendahnya Kadar Hb

Kekurangan kadar hemoglobin atau anemia merupakan kondisi kurang darah yang dapat menimbulkan dampak serius bagi kesehatan, terutama pada remaja. Pada remaja, anemia sering terjadi karena pola konsumsi makanan yang kurang sehat, pola makan berperan penting dalam menentukan status gizi. Asupan harian yang rendah zat besi dapat menyebabkan terganggunya fungsi tubuh dan secara langsung meningkatkan risiko anemia. Sebaliknya, konsumsi makanan bergizi seimbang dengan kandungan zat besi yang cukup dapat membantu menjaga status gizi remaja tetap baik dan mencegah timbulnya anemia (Atik *et al.*, 2022).

6. Pemeriksaan Hemoglobin

Pemeriksaan hemoglobin dapat dilakukan dengan berbagai metode, yaitu:

- a. Metode sahli merupakan metode pemeriksaan kadar hemoglobin yang dilakukan secara visual, yaitu dengan mengamati perubahan warna larutan secara langsung. Pada metode ini, sampel darah terlebih dahulu diencerkan menggunakan larutan asam klorida sehingga hemoglobin yang terdapat dalam darah akan bereaksi dan berubah menjadi senyawa berwarna coklat yang disebut asam

hematin. Intensitas warna asam hematin tersebut kemudian dibandingkan dengan standar warna pada alat Sahli untuk menentukan kadar hemoglobin dalam darah secara semi-kuantitatif (Khusuwati, 2021).

- b. Metode *Cyanmethemoglobin* merupakan standar emas dalam pemeriksaan kadar hemoglobin karena memiliki tingkat akurasi tinggi, prosedur sederhana, dan hasil yang konsisten. Reaksi ini didasarkan pada oksidasi besi hemoglobin oleh kalium ferisianida menjadi methemoglobin, yang kemudian berikatan dengan ion sianida hingga membentuk senyawa cyanmethemoglobin berwarna coklat kemerahan. Warna yang terbentuk diukur pada panjang gelombang 540 nanometer menggunakan spektrofotometer. Pemeriksaan ini menggunakan larutan Drabkin, namun hasil dapat terganggu oleh kekeruhan akibat leukositosis, hiperlipidemia, atau kadar globulin yang tinggi, sehingga menyebabkan pembacaan kadar hemoglobin menjadi tidak akurat (Wicaksono, 2022).
- c. Hematology Analyzer merupakan alat kesehatan digital modern yang berfungsi untuk melakukan pemeriksaan darah lengkap secara otomatis dengan tingkat ketelitian dan kecepatan yang tinggi. Alat ini dirancang untuk menggantikan metode manual yang memerlukan waktu sekitar 30 menit, menjadi hanya sekitar 15 detik dalam memperoleh hasil pemeriksaan. Selain mempercepat proses analisis, Hematology Analyzer juga mampu meminimalkan

kemungkinan terjadinya kesalahan manusia (human error) dalam pengukuran. Dengan demikian, pemeriksaan kadar hemoglobin (Hb) menggunakan alat Hematology Analyzer menjadi lebih efisien, akurat, dan andal dalam mendukung diagnosis serta pemantauan kondisi hematologis seseorang (Hermawati *et al.*, 2021).

- d. *Point of Care Testing* (POCT) merupakan metode pemeriksaan sederhana yang digunakan untuk mengukur kadar hemoglobin secara langsung di tempat pelayanan kesehatan tanpa perlu pengujian laboratorium konvensional. Keunggulan metode ini terletak pada kemampuannya memberikan hasil secara cepat, praktis, dan efisien, sehingga sangat membantu tenaga medis maupun masyarakat dalam melakukan deteksi dini kondisi hemoglobin dengan biaya yang relatif rendah dan prosedur yang mudah dilakukan.

7. Pengaruh Penundaan Pemeriksaan Hemoglobin

Stabilitas sampel darah ditandai oleh kemampuannya menjaga karakteristik fisik, kimia, serta konsentrasi komponen di dalamnya selama disimpan dalam kondisi terukur dan sesuai standar. Stabilitas ini sangat penting untuk menjamin keakuratan hasil pemeriksaan laboratorium, terutama jika terjadi penundaan analisis atau sampel harus dikirim ke laboratorium lain. Oleh karena itu, penanganan serta penyimpanan sampel darah secara tepat menjadi faktor krusial dalam pemeriksaan hematologi, karena kesalahan dalam proses

tersebut dapat menyebabkan hasil pemeriksaan menjadi tidak valid (Hermawan, 2020).

Pemeriksaan darah dilakukan segera setelah pengambilan sampel untuk menjaga integritas dan stabilitas komponen darah. Penundaan pemeriksaan dapat menyebabkan penurunan jumlah trombosit maupun perubahan morfologi sel darah lainnya, karena darah mudah mengalami hemolisis atau degradasi apabila disimpan pada suhu yang tidak sesuai. Faktor penundaan dapat disebabkan oleh banyaknya sampel yang diterima, keterlambatan pengantaran sampel dari ruang perawatan ke laboratorium atau akibat pergantian shift petugas laboratorium yang menyebabkan waktu tunggu lebih lama sebelum pemeriksaan dilakukan, pemadam listrik dan juga minimnya tenaga analis kesehatan (Galen & Aprillian, 2025), lamanya durasi penyimpanan, adanya kontaminasi bakteri, serta pengaruh paparan cahaya matahari secara langsung (Gaghana *et al.*, 2025). Sampel darah yang menggunakan antikoagulan EDTA sebaiknya segera dianalisis untuk mencegah terjadinya perubahan nilai hematologi yang dapat mempengaruhi interpretasi hasil pemeriksaan (Galen & Aprillian, 2025).

Darah yang disimpan pada suhu kamar selama lebih dari 2 jam dapat mengalami perubahan bentuk sel, ditandai dengan terjadinya pembengkakan pada eritrosit. Penyimpanan darah dalam waktu yang terlalu lama dapat mengakibatkan kerusakan pada membran eritrosit hingga akhirnya pecah, menyebabkan terjadinya hemolisis. Akibatnya, hemoglobin yang semula

berada di dalam sel akan keluar dan bercampur dengan plasma (Riki Rinaldi *et al.*, 2023).

Semakin lama waktu penundaan sebelum pemeriksaan dilakukan, semakin besar kemungkinan terjadinya penurunan kadar hemoglobin (Gaghana *et al.*, 2025). Apabila pemeriksaan tidak dapat dilakukan segera, sampel darah disarankan disimpan pada suhu 4°C di dalam lemari pendingin untuk memperlambat proses degradasi seluler. Dengan demikian, penundaan pemeriksaan dapat memberikan dampak signifikan terhadap keakuratan hasil analisis laboratorium (Galen & Aprillian, 2025).

