

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Transfusi Darah

1. Definisi dan tujuan transfusi darah

Transfusi darah merupakan proses pemindahan darah atau komponen darah dari pendonor ke pada penerima donor melalui sistem peredaran darah. Prinsip dasar transfusi, yakni untuk memberikan manfaat sebanyak mungkin dengan atau tanpa menyebabkan risiko terhadap resipien. Transfusi darah merupakan bagian penting dari pengobatan pasien dengan cedera akibat kecelakaan, prosedur pembedahan, penyakit ganas, anemia, hemodialisis serta kondisi medis lainnya (Muflikhah dkk., 2023).

Aktivitas transfusi darah dimulai dengan perencanaan, mobilisasi dan retensi donor darah, penyediaan dan distribusi darah, serta berlanjut hingga prosedur medis transfusi darah kepada penerima (Yusuf dkk., 2021).

Tujuan dilakukannya transfusi darah yakni untuk mengembalikan volume darah normal yang telah hilang, memperbaiki kekebalan tubuh, memperbaiki masalah pembekuan, mengganti kekurangan komponen darah dan meningkatkan kemampuan darah dalam mengangkut oksigen (Rahmatullah dkk., 2025).

2. Syarat-syarat pra-transfusi

Sebelum seseorang mendonorkan darah ada beberapa seleksi yang harus dilakukan sebagai proses awal dilakukan pengambilan darah untuk memastikan keamanan pendonor dan resipien. Syarat-syarat yang harus dipenuhi sebelum melakukan prosedur donor darah dikutip dari permenkes RI

nomor 91 tahun 2015 yakni (Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, 2015):

- a. Calon pendonor harus berusia minimal 17 dan maksimal 60 tahun.
- b. Berat badan minimal 45 kg bagi penyumbang darah 350 mL dan berat badan minimal 55 kg bagi penyumbang darah 450 mL.
- c. Tekanan darah 90-160 mmHg untuk sistolik dan 60-100 mmHg untuk diastolik serta perbedaan antara sistolik dengan diastolik melebihi 20 mmHg.
- d. Suhu tubuh minimal 36,5-37,5°C.
- e. Kadar hemoglobin pendonor baik perempuan atau laki-laki harus dalam rentang normal yakni 12,5-17,0 g/dL

Setelah calon pendonor memenuhi persyaratan fisik dan kesehatan, langkah selanjutnya adalah darah yang telah didonorkan harus dipastikan keamanannya dengan melakukan uji saring pada darah donor untuk menghindari kemungkinan penularan penyakit melalui transfusi darah. Setiap kantong darah yang didonorkan harus diuji saring terhadap IMLTD (Infeksi Menular Lewat Transfusi Darah) yakni meliputi pemeriksaan *Hepatitis B surface antigen* (HBsAg), HIV 1/ HIV 2 Antibodi, *Hepatitis C antibody* (antiHCV), dan sifilis untuk mencegah terjadinya Infeksi Menular Lewat Transfusi Darah (IMLTD), sehingga darah yang akan di transfusikan kepada resipien terjamin keamanannya (Wahidiyat dan Adnani, 2017).

Darah yang telah dinyatakan lulus uji saring sebelum ditransfusikan kepada resipien harus dilakukan pemeriksaan pra transfusi terlebih dahulu. Pemeriksaan pra transfusi adalah pemeriksaan laboratorium yang dilakukan

sebelum pemberian transfusi darah kepada resipien, pemeriksaan pra transfusi bertujuan untuk menjamin mutu produk darah yang akan ditransfusikan kepada resipien. Kegiatan pra transfusi mencakup pengujian serologis seperti pemeriksaan golongan darah, pemeriksaan skrining antibodi, serta *crossmatching* atau pencocokan silang (Retnoningrum dkk., 2019).

3. Jenis komponen transfusi

Komponen darah yang digunakan untuk transfusi merupakan hasil dari proses pengolahan darah donor. Pengolahan komponen darah dilakukan melalui prosedur tertentu untuk memisahkan darah utuh menjadi berbagai komponen yang siap digunakan (Muflikhah dkk., 2023). Di UDD PMI, pengolahan komponen darah untuk keperluan transfusi dibedakan menjadi beberapa jenis, yaitu:

a. Darah lengkap/ *whole blood* (WB)

Komponen darah lengkap merupakan produk darah dengan komponen di dalam darah masih lengkap, yakni mengandung eritrosit, leukosit, trombosit, dan plasma. Satu kantong WB terdiri dari 350 mL darah dan 49 mL antikoagulan. Pemberian WB dilakukan kepada pasien yang mengalami perdarahan akut dan masif dengan kehilangan darah lebih dari 25-30% dari total volume darah (Widyaswara dkk., 2023).

b. Sel darah merah pekat/ *packed red cell* (PRC)

Packed red cell (PRC) merupakan komponen darah yang diperoleh melalui proses pemisahan sebagian besar plasma dari *whole blood* (WB) menggunakan metode sentrifugasi, sehingga menghasilkan komponen PRC dengan kadar hematokrit sebesar 80%. Komponen PRC masih mengandung leukosit,

trombosit, dan sedikit plasma. Transfusi PRC diberikan untuk meningkatkan kapasitas pengangkutan oksigen dalam darah, terutama pada kasus perdarahan atau anemia berat. Pemberian transfusi PRC pada pasien anemia bertujuan untuk menambah jumlah sel darah merah dan memperbaiki kadar hemoglobin (Asryani dkk., 2018).

c. Plasma segar beku/ *fresh frozen plasma* (FFP)

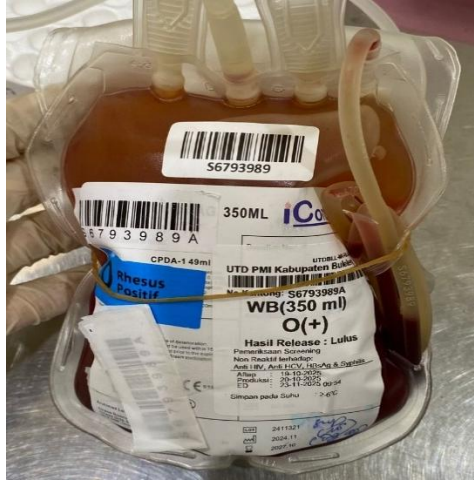
Fresh Frozen Plasma (FFP) adalah komponen darah hasil pemisahan plasma dalam *whole blood* yang kemudian dibekukan secara cepat hingga ke intinya pada suhu -30°C selama 1 jam dan disimpan di dalam freezer guna menjaga fungsi dari faktor koagulasi labil. FFP diindikasikan untuk pasien yang terus mengalami perdarahan setelah transfusi darah dan transfusi trombosit dalam jumlah besar (Komalasari dan Astuti, 2023).

d. Trombosit konsentrat (TC)

Trombosit konsentrat merupakan komponen kaya akan trombosit, komponen ini berasal dari satu unit *whole blood* yang diolah dengan metode sentrifugasi menggunakan kantong darah triple dengan mengandung antikoagulan CPDA-1 di dalamnya. Trombosit konsentrat disimpan dalam suhu $20-24^{\circ}\text{C}$ dan diletakkan pada alat platelet agitator, sehingga komponen trombosit tidak rusak dan dapat disimpan selama 3-5 hari. Komponen trombosit konsentrat diberikan kepada pasien yang menderita penurunan trombosit dengan disertai perdarahan (trombosit dibawah 20.000) atau yang memerlukan tindakan bedah untuk mencegah dan menghentikan perdarahan karena trombositopenia (Situmorang dkk., 2023).

B. Darah Lengkap (*Whole blood*)

1. Definisi *whole blood*



Gambar 1. Produk Darah *Whole Blood*

(Sumber: Dokumentasi pribadi, 2025)

Whole blood atau darah lengkap merupakan produk darah yang komponen di dalamnya masih lengkap mengandung eritrosit, leukosit, trombosit dan protein plasma, albumin, antibodi, dan faktor koagulasi. *Whole blood* menggambarkan kondisi fisiologis darah sebelum dilakukan penyimpanan atau pemisahan menjadi komponen darah lainnya (Widyaswara dkk., 2023). Menurut Supadmi, Kusumaningrum, dan Sepvianti (2024), komposisi penyusun *whole blood* adalah 45% sel darah dan 55% cairan kekuningan yang disebut dengan plasma. Meskipun komposisi plasma lebih banyak dibandingkan dengan sel darah merah, namun *whole blood* tetap berwarna merah karena di dalam eritrosit terkandung hemoglobin yang memberikan warna merah khas pada darah.

Komponen *whole blood* ditampung dalam kantong darah yang mengandung antikoagulan *citrate phosphate dextrose adenine-1* (CPDA-1), dan disimpan

pada suhu 2-6°C serta masa simpan maksimal selama 35 hari. *Whole blood* dapat berfungsi sebagai bahan baku utama dalam pembuatan komponen darah seperti *packed red cell* (PRC), trombosit konsentrat, dan *fresh frozen plasma* (FFP) oleh karena itu kualitas komponen *whole blood* harus dijaga agar kualitas tidak mempengaruhi kualitas komponen yang dihasilkan (Hasnawati & Laili, 2025).

2. Indikasi pemberian *whole blood*

Menurut Supadmi, Kusumaningrum, dan Sepvianti (2024), pemberian komponen *whole blood* sebagai alternatif transfusi diindikasikan pada kasus-kasus sebagai berikut:

- a. Perdarahan akut/ massif dengan disertai hypovolemia dan kehilangan darah hebat seperti trauma mayor atau pembedahan

Pada kasus kehilangan darah hebat akibat pembedahan, pemberian *whole blood* dilakukan untuk mengembalikan volume darah yang telah hilang dengan cepat, meningkatkan pengiriman oksigen ke dalam jaringan dan meningkatkan hemostasis yang merupakan proses untuk menghentikan perdarahan. Sedangkan pada kasus anemia berat dan hypovolemia (volume darah rendah) pemberian transfusi *whole blood* berfungsi untuk mengatasi kebutuhan sel darah merah dan ekspansi volume plasma.

- b. Transfusi tukar

Pemberian transfusi tukar khususnya pada neonatus dengan penyakit kuning berat atau penyakit hemolitik bertujuan untuk membantu menghilangkan bilirubin serta antibodi yang terdapat pada darah neonates.

c. Kondisi emergensi atau kegawatdaruratan

Pada kondisi emergensi seperti darurat perang dan bencana alam, pemberian *whole blood* sering digunakan untuk transfusi cepat karena pemisahan komponen *whole blood* tidak dapat dilakukan.

d. Ketidak tersediaan komponen PRC

Transfusi *whole blood* dapat menjadi alternatif jika komponen darah PRC tidak tersedia karena keterbatasan sumberdaya atau akses antar daerah, sehingga transfusi *whole blood* dapat dilakukan untuk memastikan pasien menerima komponen darah yang diperlukan.

3. Kontra indikasi pemberian *whole blood*

Menurut Supadmi, Kusumaningrum, dan Sepvianti (2024), pemberian transfusi komponen *whole blood* memiliki kontra indikasi yang harus diperhatikan yakni:

a. Pasien dengan risiko kelebihan cairan

Pasien dengan kelebihan cairan contohnya seperti penderita gagal jantung, gagal ginjal berat, atau anemia kronik, tidak disarankan menerima *whole blood* karena volume plasmanya yang masih utuh dapat memperburuk kondisi hemodinamik pasien.

b. Pasien sensitif terhadap gangguan elektrolit

Transfusi *whole blood* simpan tidak disarankan diberikan kepada pasien yang mengalami gangguan sensitif terhadap elektrolit, karena *whole blood* simpan dapat mengalami peningkatan kadar kalium sehingga pemberian komponen WB simpan dapat menyebabkan terjadinya hiperkalemia pada pasien sensitive terhadap gangguan elektrolit

- c. Pasien dengan riwayat alergi berat terhadap produk darah

Transfusi *whole blood* tidak disarankan pada pasien yang mengalami riwayat alergi berat terhadap produk darah karena kandungan protein yang terdapat pada plasma dapat memicu terjadinya reaksi alergi.

- d. Pasien dengan gejala *Transfusion Associated Circulatory Overload* (TACO)

Pada pasien yang menunjukkan gejala *Transfusion Associated Circulatory Overload* (TACO), yakni kondisi tubuh yang tidak mampu menangani peningkatan volume darah setelah transfusi, pemberian *whole blood* tidak disarankan karena pemberian transfusi pada pasien TACO dapat memperberat kelebihan cairan dan memperburuk kondisi klinis.

- e. Pasien dengan gangguan sistem imun

Pemberian *whole blood* pada pasien dengan gangguan sistem imun seperti HIV atau pasien yang menjalani kemoterapi umumnya dihindari karena adanya risiko lebih tinggi terhadap infeksi yang ditularkan melalui darah.

C. Penyimpanan Darah

1. Penyimpanan darah secara *in vitro*

Menurut Maharani dan Noviar (2018), penyimpanan darah donor dapat dilakukan secara *in vitro* dan *invivo*. Pada penyimpanan darah secara *in vitro* dapat dibagi menjadi dua jenis yakni penyimpanan dalam bentuk cair serta penyimpanan dalam bentuk beku.

- a. Penyimpanan dalam bentuk cair

- 1) Seluruh komponen darah memiliki suhu penyimpanan optimal yang berbeda.

- 2) Eritrosit yang disimpan dalam bentuk cair disimpan dalam temperatur optimal 4 ± 2 °C yaitu dalam rentang 2-6 °C, karena pada rentang suhu tersebut aktivitas metabolisme sel menurun hingga sekitar 1/40 dibandingkan pada suhu fisiologis 37 °C, sehingga kerusakan sel dapat ditekan dan menjadi lebih lambat.
- 3) Berikut merupakan temperatur simpan komponen darahh dalam bentuk cair:

Tabel 1
Penyimpanan Darah dalam Bentuk Cair

Temperatur	Jenis komponen darah
$4 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$	<i>Whole blood, Packed Red Cell</i> dan plasma.
$22 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$	Trombosit konsentrat dan leukosit pekat (<i>Buffy coat</i>)

(Sumber: Maharani dan Noviar, 2018)

b. Penyimpanan darah dalam bentuk

Penyimpanan darah dalam bentuk beku memiliki tujuan untuk memperpanjang masa simpan komponen darah secara *in vitro*. Beberapa komponen yang dapat dibekukan meliputi eritrosit, trombosit, dan sel induk darah (stem cell), serta produk turunan seperti kriopresipitat dan *fresh frozen plasma* (FFP).

Tabel 2
Penyimpanan Darah dalam Bentuk Beku

Temperatur	Jenis komponen
-18 °C sampai -30 °C	<i>Fresh frozen plasma</i> dan kriopresipitat
-196 °C	Sel induk darah (stem sel)

(sumber: Maharani dan Noviar, 2018)

2. Syarat-syarat penyimpanan darah secara *in vitro*

Menurut Maharani dan Noviar (2018), prosedur penyimpanan darah secara *in vitro* harus memenuhi dua persyaratan utama, yaitu mempertahankan sel darah tetap hidup serta menjaga fungsinya selama masa simpan. Dua faktor

yang berperan penting dalam stabilitas komponen darah adalah temperatur penyimpanan dan penggunaan antikoagulan maupun bahan pengawet.

Antikoagulan yang digunakan pada darah donor umumnya adalah sitrat, yang bekerja dengan mengikat ion kalsium sehingga mencegah proses pembekuan, bersifat aman, dan hanya menimbulkan efek toksik bila diberikan dalam konsentrasi tinggi, terutama pada transfusi masif atau pasien dengan gangguan hati. Berikut merupakan jenis antikoagulan dan bahan pengawet yang digunakan dalam metode penyimpanan cair:

- a. Natrium sitrat 3,4–3,8% dengan ketahanan 2–3 hari pada suhu 4 °C.
- b. ACD (*acid citrate dextrose*) dapat memperpanjang masa simpan hingga 21 hari melalui penambahan dekstrosa.
- c. CPD (*citrate phosphate dextrose*) meningkatkan pasokan energi ke sel melalui penambahan fosfat dan memungkinkan masa simpan hingga 28 hari.
- d. CPD-A (*citrate phosphate dextrose adenine*) meningkatkan sintesis ATP melalui penambahan 17 mg adenin ke komposisi CPD dan mempertahankan viabilitas eritrosit hingga 35 hari.
- e. Larutan aditif seperti AS-1 (Adsol), AS-3 (Nutricel), dan AS-5 (Optisol) dapat memperpanjang masa simpan produk darah hingga 42 hari.

3. Efek penyimpanan darah secara *in vitro*

Menurut Maharani dan Noviar (2018), penyimpanan darah secara *in vitro* tidak hanya bertujuan mempertahankan kualitas komponen darah, tetapi juga dapat menimbulkan perubahan terhadap komponen darah selama masa simpan. Adapun efek penyimpanan secara *in vitro* adalah sebagai berikut:

a. Perubahan bentuk serta daya hidup sel

- 1) Selama masa penyimpanan daya hisap sel darah merah akan mengalami penurunan, pada darah yang dikumpulkan, kerusakan sel berkisar antara 1-5%. Setelah disimpan selama dua minggu sekitar 10% eritrosit akan mengalami hemolisis.
- 2) Daya hidup trombosit juga akan menunjukkan penurunan yang berkaitan dengan lama dan suhu penyimpanan. Penyimpanan pada suhu 2-6°C akan menyebabkan penurunan viabilitas trombosit dibandingkan pada suhu penyimpanan 18-22°C.
- 3) Leukosit mengalami penurunan fungsi lebih cepat selama masa penyimpanan. Setelah penyimpanan selama 48 jam morfologi leukosit akan mengalami perubahan dan pada masa penyimpanan 72 jam kemampuan fungsional leukosit hampir sepenuhnya hilang.

b. Penurunan kadar Adenosine Triphosphate

Penurunan kadar ATP akan menyebabkan hilangnya lipid membran sel, akibat hilangnya lipid sel maka sel eritrosit akan berubah bentuk dari bikonkaf menjadi bulat serta elastisitas sel menurun, menyebabkan sel menjadi kaku.

c. Penurunan kadar 2,3-DPG (2,3-diphosphoglycerate)

Penurunan kadar 2,3-DPG akan menyebabkan kapasitas pengikatan oksigen molekul tersebut meningkat, sehingga mengurangi pengiriman oksigen ke jaringan. Darah dengan kadar 2,3-DPG yang rendah tidak akan menyebabkan peningkatan oksigenasi jaringan bahkan dengan peningkatan kadar hemoglobin oleh karena itu pemberian darah dengan kadar 2,3-DPG

yang rendah tidak dapat diberikan kepada pasien yang membutuhkan oksigenisasi cepat.

d. Perubahan elektrolit

Peningkatan kadar kalium dalam plasma terjadi oleh karena ketidakmampuan sel dalam menahan kalium, sehingga menyebabkan natrium dan air mengalir ke dalam sel.

e. Perubahan ammonia

Perubahan ammonia disebabkan oleh destruksi protein. Darah dengan kadar ammonia plasma yang tinggi tidak tepat diberikan kepada resipien yang menderita penyakit hati.

f. Peningkatan hemoglobin plasma

Peningkatan hemoglobin plasma dapat disebabkan oleh eritrosit yang banyak lisis selama masa penyimpanan, sehingga hemoglobin bebas keluar dari sel dan terakumulasi di dalam plasma.

g. Perubahan faktor pembekuan

Faktor pembekuan yang dapat berubah selama masa penyimpan komponen darah yakni F V dan F VIII, faktor V dan Faktor VIII termasuk faktor yang sangat mudah rusak dalam kondisi *in vitro*. Kedua faktor tersebut hanya dapat bertahan selama kurang lebih 4–6 jam setelah pengambilan darah, sehingga pada darah yang disimpan tidak lagi ditemukan faktor V dan VIII karena sifatnya yang labil.

h. Perubahan metabolisme sel

Perubahan pH ke arah asam dapat menghambat kinerja enzim yang berperan dalam metabolisme sel. Akibatnya proses metabolisme sel tidak berlangsung optimal dan sel menjadi lebih mudah lisis.

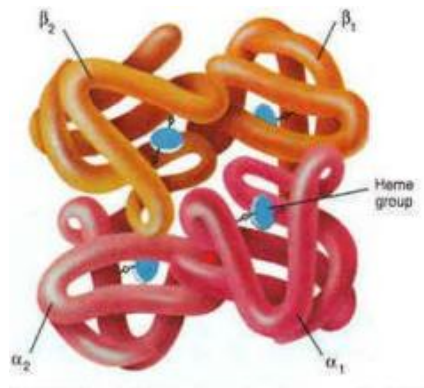
D. Hemoglobin

1. Definisi hemoglobin

Hemoglobin adalah protein yang tersusun atas heme dan globin. Heme adalah gugus prostetik yang mengandung atom besi (Fe^{2+}), sedangkan globin adalah bagian protein yang tersusun dari rantai asam amino. Hemoglobin berada di dalam eritrosit dan memiliki fungsi utama untuk mengangkut oksigen. Hemoglobin memiliki afinitas tinggi terhadap oksigen, di paru-paru oksigen akan berikatan dengan hemoglobin membentuk oksihemoglobin, kemudian diangkut menuju jaringan tubuh yang membutuhkan oksigen. Apabila kadar hemoglobin di dalam tubuh menurun, maka tubuh berisiko tinggi mengalami anemia karena rendahnya konsentrasi hemoglobin itu sendiri (Rusmiyati dan Anggraini, 2024).

Hemoglobin memiliki peran penting di dalam tubuh yakni sebagai pengatur pertukaran O_2 dan CO_2 dalam jaringan tubuh. Oksigen yang terikat pada sel darah merah (eritrosit) memberi warna merah dan penurunan kadar hemoglobin akan berdampak negatif bagi tubuh. Gejala yang muncul ketika penurunan kadar hemoglobin yakni pusing, kelelahan, kesulitan bernafas dan dapat menyebabkan terjadinya anemia atau polisitemia (Rusmiyati dan Anggraini, 2024)

2. Struktur hemoglobin



Gambar 2. Struktur Hemoglobin

(Sumber: Wulandari, 2018)

Hemoglobin merupakan molekul protein tetrametik yang terdiri dari protoporphyrin dan besi, yang ditemukan di dalam eritrosit. Protein hemoglobin α berbentuk globuler, terdiri atas 2 rantai α globin dan 2 rantai β globin. Molekul $\alpha_2\beta_2$ merupakan molekul penyusun hemoglobin pada individu dewasa. Setiap sub unit (α dan β) terkandung group heme, dengan satu atom besi yang berfungsi melekatkan oksigen atau *ligand* lainnya secara reversibel. Hemoglobin memiliki peran pada proses pernapasan, yakni berperan selaku pembawa oksigen (O_2) melalui paru-paru menuju ke seluruh jaringan tubuh serta membawa kembali karbondioksida (CO_2). Hemoglobin mampu berinteraksi dengan gas lain, seperti karbon monoksida (CO) dan nitrogen monoksida (NO) yang memiliki fungsi biologis (R. D. Wulandari, 2018).

Hemoglobin dapat berupa HbA ($\alpha_2\beta_2$) sebanyak 95% pada orang dewasa sehat serta sejumlah kecil sekitar 3,5% berupa HbA2 ($\alpha_2\delta_2$) dan HbF ($\alpha_2\gamma_2$) sekitar 0-2%. Pada sel diploid mengandung empat gen α serta dua gen β . Rantai alfa dan beta tersusun atas 141 dan 146 asam amino. Meskipun demikian, kedua rantai tersebut memiliki sekuens yang sama, yakni terdapat 64 asam

amino pada penempatan yang sama serta rantai β juga menunjukkan perbedaan dengan rantai δ dan γ pada 39 dan 10 asam aminonya (R. D. Wulandari, 2018).

3. Kadar hemoglobin

Kadar hemoglobin merupakan ukuran konsentrasi hemoglobin dalam spesimen darah, umumnya dinyatakan dalam satuan gram per desiliter (g/dL). Parameter ini menjadi indikator penting untuk menilai kemampuan darah dalam mengangkut oksigen ke seluruh jaringan tubuh (Atik dan Susilowati, 2022). Dalam praktik pelayanan transfusi darah, kadar hemoglobin termasuk salah satu kriteria utama kelayakan donor, seorang calon pendonor dapat mendonorkan darahnya apabila memiliki kadar hemoglobin dalam batas normal yakni 12,5-17,0 g/dL. Kadar hemoglobin calon pendonor yang adekuat dapat memastikan volume sel darah merah yang didonorkan tidak mengganggu kapasitas fisiologis pendonor (Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, 2015).

4. Metode penetapan kadar hemoglobin

Menurut Norsiah (2015), pemeriksaan hemoglobin adalah pemeriksaan darah rutin yang dilakukan di setiap laboratorium. Kadar hemoglobin dapat ditentukan menggunakan berbagai metode, yakni:

a. Metode sahli

Metode sahli merupakan metode paling sederhana untuk memeriksa hemoglobin. Dalam metode sahli hemoglobin dihidrolisis dengan HCL 0,1N menghasilkan asam hematin yang berwarna coklat, kemudian warna yang terbentuk selanjutnya dibandingkan dengan warna pada standar. Perubahan warna pada asam hematin terjadi karena adanya pengenceran dengan aquadest,

sehingga warnanya akan terlihat sama dengan warna standar. Metode ini kurang direkomendasikan karena tidak seluruh hemoglobin dapat menjadi asam hematin contohnya seperti karboksihemoglobin, methemoglobin dan sulfhemoglobin. Pemeriksaan hemoglobin dengan metode sahli juga dipengaruhi oleh faktor subjektivitas yakni warna standar pudar, penyinaran, dan faktor kesalahannya sebesar 5-10% (Norsiah, 2015).

b. Metode cyanmethemoglobin

Metode cyanmethemoglobin merupakan teknik standar yang digunakan untuk menentukan kadar hemoglobin yang terdapat di dalam spesimen darah. Pada metode ini, hemoglobin yang dilepas dari eritrosit dioksidasi oleh kalium ferisianida menjadi methemoglobin. Methemoglobin akan bersenyawa dengan kalium sianida dan kemudian menghasilkan senyawa cyanmethemoglobin. Absorbansi senyawa ini diukur pada panjang gelombang 540 nm, absorbansi yang diperoleh berbanding lurus dengan konsentrasi hemoglobin dalam spesimen darah (Rahmatullah dkk., 2023)

c. Metode POCT

Metode *Point of Care Testing* (POCT) adalah metode pemeriksaan sederhana yang menggunakan spesimen darah dalam jumlah relatif sedikit untuk mengukur kadar hemoglobin. Pemeriksaan ini dilakukan menggunakan alat semiotomatis yang mampu memberikan hasil secara cepat. Prinsip kerja hemoglobin meter berbasis POCT didasari oleh interaksi kimia antara sampel darah dan reagen kering pada strip (elektroda), yang kemudian menghasilkan perubahan sinyal listrik atau warna tertentu. Perubahan tersebut kemudian

dibaca oleh alat dan dikonversi menjadi nilai kadar hemoglobin yang ditampilkan secara otomatis pada alat (Fauzi dkk., 2024).

d. Metode *hematology analyzer*

Alat *hematology analyzer* adalah perangkat yang digunakan secara *in vitro* untuk secara otomatis melakukan berbagai jenis tes hematologi, menggunakan reagen sesuai dengan petunjuk pengoperasian. Metode ini banyak digunakan karena pemeriksaan dapat dikerjakan dalam waktu singkat serta hasil pemeriksaan sudah melewati kontrol kualitas. Dalam pemeriksaan hemoglobin dengan menggunakan alat *hematology analyzer*, hemoglobin akan dipecah menjadi larutan kemudian dipisahkan dari zat lain dengan menggunakan sianida dan selanjutnya dilakukan penyinaran. Hasil pengukuran kadar hemoglobin didasari dari banyaknya sinar yang berhasil diserap oleh hemoglobin (Rahmatullah dkk., 2023).

e. Metode kupri sulfat (CuSO_4)

Metode kupri sulfat merupakan metode pemeriksaan hemoglobin yang didasarkan pada prinsip perbedaan berat jenis antara tetesan darah dan larutan kupri sulfat standar. Metode kupri sulfat dilakukan dengan mengambil spesimen darah menggunakan mikrokapiler dalam posisi miring ke bawah hingga minimal $\frac{3}{4}$ bagian kapiler terisi. Selanjutnya, satu tetes darah dijatuhkan ke dalam larutan kupri sulfat dengan berat jenis 1053 dari jarak 1 cm di atas permukaan larutan. Hasil reaksi dapat diamati dalam waktu 15 detik. Interpretasi hasil dari pemeriksaan hemoglobin dengan metode kupri sulfat adalah sebagai berikut: apabila tetesan darah tenggelam, kadar hemoglobin diperkirakan lebih dari 12,5 g/dL; apabila melayang, kadar hemoglobin sekitar

12,5 g/dL; dan apabila mengapung, kadar hemoglobin diperkirakan kurang dari 12,5 g/dL (Panjaitan dkk., 2025).

f. Metode tallquist

Metode tallquist merupakan metode pemeriksaan hemoglobin secara visual yang didasarkan pada perbandingan intensitas warna darah dengan skala warna standar. Pemeriksaan ini dilakukan dengan meneteskan darah pada kertas hisap hingga meresap merata, setelahnya dibiarkan selama 1–2 menit untuk memungkinkan hemoglobin mengalami oksigenasi menjadi oksihemoglobin (HbO₂), yang memiliki warna lebih gelap dibandingkan darah segar. Setelah terbentuk bercak darah yang stabil, kertas tersebut diletakkan di bawah skala warna tallquist untuk mencocokkan warna bercak dengan standar yang tersedia (Panjaitan dkk., 2025).

5. Faktor yang mempengaruhi kadar hemoglobin pada komponen *whole blood*

a. Lama penyimpanan

Darah yang baru didonorkan dan belum disimpan umumnya memiliki faktor koagulasi yang lengkap, terutama faktor V dan VIII, serta fungsi sel darah merah yang sangat baik. Sebaliknya pada darah yang telah disimpan kadar faktor koagulasi tersebut telah mengalami penurunan yang cukup signifikan, dan kemampuan eritrosit dalam mengangkut oksigen juga berubah (Nelma dan Adiratna, 2023).

Penyimpanan darah yang terlalu lama akan menyebabkan banyak eritrosit yang mati tak lama setelah transfusi karena penurunan kadar ATP (Adenosin Tri Phospat). Setelah beberapa hari penyimpanan, kurva disosiasi oksigen

bergeser ke kiri. Oksigen berikatan lebih kuat dengan hemoglobin dan terlalu sedikit yang dapat berikatan dengan jaringan akibat pengiriman oksigen tidak mencukupi. Karena banyak sel eritrosit yang mengalami lisis, ada kemungkinan kadar hemoglobin dalam darah yang disimpan akan meningkat (Rahmah dan Chairunnissa, 2021).

b. Suhu penyimpanan

Suhu penyimpanan berperan penting dalam menjaga kualitas komponen darah. Penyimpanan pada suhu yang tidak sesuai dapat menyebabkan penurunan kemampuan darah dalam mengangkut oksigen. Standar suhu penyimpanan komponen darah di UDD PMI adalah 2–6°C, di mana rentang ini mampu menekan pertumbuhan bakteri yang berpotensi mengkontaminasi darah selama masa simpan (Widyaswara dkk., 2023).

Penyimpanan darah pada suhu di atas 6°C dapat mempercepat pertumbuhan bakteri, sehingga meningkatkan risiko terjadinya kontaminasi yang dapat berakibat fatal bagi resipien saat transfusi. Sebaliknya, batas bawah suhu 2°C juga harus diperhatikan untuk menjaga stabilitas komponen darah. Jika darah disimpan pada suhu di bawah 2°C, maka darah dapat mengalami pembekuan yang menjadi faktor penyebab pecahnya membran eritrosit sehingga hemoglobin keluar dari eritrosit ke plasma dan akibatnya kadar hemoglobin akan tampak meningkat (Rahmah dan Chairunnissa, 2021).

c. Teknik pengumpulan darah donor

Teknik pengumpulan darah donor merupakan bagian dari tahap pra analitik. Sebagian besar kesalahan yang terjadi di dalam pemeriksaan laboratorium terjadi pada tahap pra analitik. Kesalahan pada tahap pra analitik

dapat berpengaruh terhadap hasil pemeriksaan laboratorium sebesar 46-68,2%. Tipe kesalahan paling banyak disebabkan oleh kualitas spesimen yang kurang sesuai dengan standar oleh karena kesalahan teknik pengumpulan sampel sehingga menyebabkan sampel hemolisis (Khotimah dan Sun, 2022).

Teknik pengumpulan darah donor yang tidak sesuai seperti penggunaan ukuran jarum yang tidak sesuai, pengambilan darah pada daerah yang hematoma, serta penghomogenan darah donor yang terlalu keras dapat menyebabkan hemolisis selama pengabilan sampel. Hemolisis adalah gangguan yang terjadi pada membran eritrosit dan menyebabkan pelepasan hemoglobin ke dalam plasma, sehingga dapat menghasilkan nilai hemoglobin yang tidak akurat, cenderung lebih tinggi atau lebih rendah tergantung dari metode pemeriksaannya (Riviana dan Nuryani, 2019).

d. Kualitas dan jenis antikoagulan

Penambahan antikoagulan dalam kantong darah donor digunakan untuk mencegah terjadinya pembekuan darah dan menjaga fungsi sel. Antikoagulan yang biasanya digunakan pada komponen darah donor yakni *citrate-phosphate-dextrose* (CPD) dengan umur simpan sampai 21 hari dan *citrate-phosphate-dextrose adenine-1* (CPDA-1) dengan umur simpan sampai 35 hari (Rahmah dan Chairunnissa, 2021). Penggunaan antikoagulan dalam satu kantong *whole blood* adalah 350 mL darah dan 49 mL antikoagulan, pengaplikasian antikoagulan dengan kadar yang tidak tepat berpotensi menjadi penyebab degradasi eritrosit yang lebih cepat sehingga berdampak pada penurunan kadar hemoglobin di dalam darah (Widyaswara dkk., 2023).