

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Darah

1. Defenisi Darah

Darah merupakan jaringan ikat berbentuk cair yang memiliki peranan penting dalam mempertahankan fungsi fisiologis tubuh. Secara umum, darah tersusun atas dua komponen, yaitu plasma sebagai bagian cair yang mencakup sekitar 55% dari total volume darah dan unsur-unsur seluler yang membentuk sekitar 45%. Komponen seluler tersebut meliputi eritrosit, leukosit, dan trombosit yang masing-masing memiliki fungsi berbeda dalam tubuh. Pada individu dewasa, jumlah darah yang beredar diperkirakan berkisar antara 5 hingga 6 liter atau setara dengan sekitar 7–8% dari berat badan (Maharani & Noviar, 2018).

2. Komponen Penyusun Darah

a. Sel darah merah (eritrosit)

Istilah eritrosit berasal dari bahasa Yunani, di mana 'erythros' berarti merah dan 'kytos' berarti sel. Eritrosit adalah bagian dari darah yang mengandung hemoglobin (Hb), sebuah protein yang mengikat dan mengangkut oksigen. Warna merah darah berasal dari hemoglobin yang terikat oksigen di paru-paru. Setelah mencapai jaringan tubuh, hemoglobin melepaskan oksigen untuk kebutuhan sel-sel dan kemudian mengikat karbon dioksida dari metabolisme untuk membawanya kembali ke paru-paru. Pada orang dewasa, kadar hemoglobin normal berkisar antara 11,5–15,0 g/dL. Sebagai komponen utama darah, eritrosit berfungsi mendistribusikan oksigen dari paru-paru ke berbagai jaringan tubuh. Di sisi lain, eritrosit juga membantu mengembalikan karbon dioksida serta proton yang dihasilkan selama metabolisme jaringan ke paru-paru agar dapat dieliminasi dari tubuh (Maharani & Noviar, 2018).

Jumlah sel darah merah dalam tubuh bisa menurun, seringkali disertai dengan penurunan kadar hemoglobin. Kondisi ini dikenal sebagai anemia, yang bisa disebabkan oleh berbagai faktor, seperti kehilangan darah yang parah, anemia hemolitik, atau masalah dalam proses eritropoiesis. Sel darah merah berbentuk cakram bikonkaf dengan diameter sekitar 6–8 μm dan ketebalan sekitar 2 μm . Dibandingkan dengan sebagian besar sel darah lainnya, sel darah merah relatif

kecil dan merupakan jenis sel darah yang paling banyak dalam sirkulasi. Dalam kondisi normal, jumlah sel darah merah pada pria dewasa kira-kira 5 juta sel/mm³ darah, sementara pada wanita dewasa sekitar 4,5 juta sel/mm³ darah (Maharani & Noviar, 2018).

Sel darah merah memiliki umur rata-rata sekitar 120 hari di dalam peredaran darah. Setelah menua atau rusak, sel darah merah sebagian besar dipecah menjadi partikel lebih kecil di limpa dan sebagian di hati. Hemoglobin dalam sel darah merah diuraikan, sementara besi yang dihasilkan disimpan di hati untuk kemudian dikirim ke sumsum tulang, di mana sel darah merah baru dibuat. Sumsum tulang secara terus-menerus menghasilkan eritrosit untuk mempertahankan jumlah sel darah merah dalam sirkulasi, dengan produksi mencapai sekitar 2 juta sel per detik. Aktivitas tersebut dipacu oleh hormon eritropoietin (EPO), yang mayoritas diproduksi oleh ginjal (Maharani & Noviar, 2018).

b. Sel darah putih (leukosit)

Sel darah putih, yang dikenal sebagai leukosit, merupakan komponen darah dengan ukuran lebih besar daripada eritrosit. Pada orang dewasa yang sehat, jumlah leukosit normal dalam darah berada pada rentang sekitar 4.000–10.000 sel/mm³, yang mencerminkan kondisi fisiologis normal. Leukosit adalah sel yang memiliki inti, dan kebanyakan dari mereka bisa bergerak seperti amoeba dan menembus dinding kapiler untuk mencapai jaringan yang membutuhkan respons pertahanan tubuh. Sel-sel ini diproduksi di sumsum tulang, kelenjar getah bening, dan limpa. Berbeda dengan eritrosit, leukosit tidak mengandung pigmen, sehingga tampak tidak berwarna, memiliki bentuk yang tidak teratur, dan memainkan peran penting dalam sistem pertahanan tubuh terhadap berbagai patogen (Maharani & Noviar, 2018).

c. Trombosit

Peran utama trombosit dalam sirkulasi darah adalah menjaga proses hemostasis agar perdarahan dapat dikendalikan. Ketika terjadi kerusakan pada dinding pembuluh darah, trombosit akan berikatan dengan daerah yang mengalami cedera, kemudian mengalami agregasi sehingga terbentuk sumbatan trombosit yang membantu menghentikan keluarnya darah. Saat diaktifkan, trombosit mengubah bentuknya dan melepaskan berbagai zat yang mendukung

proses pembekuan darah. Trombosit tidak memiliki inti sel, berukuran sekitar 1–4 μm , dan memiliki sitoplasma biru dengan granula kemerahan-keunguan. Sel-sel ini berasal dari megakariosit di sumsum tulang dan terbentuk melalui fragmentasi sitoplasma megakariosit. Dalam kondisi normal, jumlah trombosit dalam darah berkisar antara 150.000 hingga 350.000 sel per mikroliter darah. Granula di dalam trombosit mengandung berbagai faktor yang berperan dalam mekanisme pembekuan darah (Sonmez & Sonmez, 2017).

3. Fungsi Darah

a. Sebagai peran transport dalam tubuh

Darah berfungsi sebagai alat transportasi untuk berbagai zat yang dibutuhkan tubuh. Darah membantu membawa oksigen ke sel-sel, mengantarkan nutrisi ke seluruh tubuh, dan mengangkut berbagai protein yang bekerja secara spesifik atau tidak spesifik. Selain itu, darah mengandung imunoglobulin yang berperan dalam melawan infeksi di tubuh. Darah juga mengangkut produk limbah dari jaringan ke organ pengeluaran agar bisa dikeluarkan dari tubuh.

b. Sebagai peran dalam sistem pertahanan tubuh

Selain berfungsi sebagai alat transportasi, darah juga memainkan peran penting dalam sistem pertahanan tubuh. Fungsi ini terlihat pada mekanisme hemostasis yang mencegah dan menghentikan pendarahan, dalam respons imun spesifik dan non-spesifik terhadap zat penyebab penyakit, serta dalam aktivitas sistem fagositik yang membantu menghancurkan dan menghilangkan mikroorganisme dan partikel asing yang masuk ke dalam tubuh.

c. Sebagai peran dalam Homeostasis

Darah juga memainkan peran penting dalam menjaga keseimbangan tubuh. Ini termasuk pengaturan suhu tubuh, keseimbangan cairan dan elektrolit, serta berfungsi sebagai media komunikasi antara sel, jaringan, dan organ dengan mengangkut berbagai hormon dan zat kimia lain yang dibutuhkan untuk mengkoordinasikan berbagai proses fisiologis dalam tubuh (Fdil, 2022).

4. Produk Darah

Komponen darah bisa dipisahkan menggunakan metode fisik dan mekanis, tanpa menambahkan bahan kimia, misalnya dengan sentrifugasi dan sedimentasi. Pemrosesan darah dilakukan sesuai prosedur yang telah teruji, untuk memisahkan

darah donor menjadi berbagai komponen yang bisa digunakan sesuai kebutuhan terapi. Untuk menghasilkan produk darah yang berkualitas dan aman, setiap langkah pemrosesan harus mengikuti standar kualitas dan keselamatan yang ketat. Selain itu, pemisahan komponen darah harus dilakukan secara aseptik, menggunakan kantong darah ganda, kantong darah tunggal dengan kantong transfer, atau sistem kantong darah lain yang sesuai. (Maharani & Noviar, 2018).

a. *Whole Blood (WB)*



Gambar 2.1. Whole Blood

(Sumber: Sendi Peronika, *infolabmed.com*)

Whole Blood (WB) adalah darah yang mengandung sel darah merah, sel darah putih, trombosit, dan plasma. Setiap kantong WB berisi sekitar 450 ml darah dan 63 ml antikoagulan dengan nilai hematokrit 36–44% dan disimpan pada suhu 2–4°C. Komponen utama WB adalah sel darah merah dan plasma, karena sel darah putih dan trombosit tidak bertahan lama pada suhu dingin.

Umur simpan sel darah merah tergantung pada jenis antikoagulan yang digunakan, yaitu sampai 21 hari dengan CPD dan 35 hari dengan CPDA. Selama penyimpanan, kadar 2,3-DPG menurun, yang berperan dalam pelepasan oksigen dari hemoglobin. Selain itu, faktor pembekuan V dan VIII, trombosit, dan granulosit menurun, sementara albumin, globulin, dan faktor pembekuan stabil tetap utuh. (Maharani & Noviar, 2018).

Indikasi:

- 1) Pendarahan akut atau masif yang disertai hipovolemia dengan kehilangan cairan tubuh lebih dari 30%.
- 2) Anemia.
- 3) Operasi besar dengan kehilangan darah lebih dari 1.500 mL.

- 4) Kondisi yang memerlukan transfusi (PRC), tetapi komponen tersebut tidak tersedia.

b. *Packed Red Cell (PRC)*



Gambar 2.2. Packed Red Cell

(Sumber: Sendi Peronika, *infolabmed.com*)

(PRC) adalah komponen darah yang mengandung jumlah sel darah merah yang tinggi dengan nilai hematokrit sekitar 70% dan disimpan pada suhu $4 \pm 2^{\circ}\text{C}$. Sebelum transfusi, PRC harus melewati tes crossmatch antara darah donor dan penerima. Tujuan transfusi PRC adalah untuk meningkatkan jumlah sel darah merah, kadar hemoglobin, dan hematokrit.

PRC diperoleh melalui proses sentrifugasi yang memisahkan sel darah merah dari komponen darah lainnya. Karena mengandung sedikit plasma, PRC bisa mengurangi volume transfusi sekaligus secara efektif meningkatkan kapasitas transport oksigen. Komponen ini sangat berguna bagi pasien dengan anemia kronis, gagal jantung kongestif, atau kondisi lain yang memerlukan pembatasan cairan (Maharani & Noviar, 2018).

Indikasi:

- 1) Pasien dengan kadar hemoglobin (Hb) < 7 g/dL, terutama jika menunjukkan gejala anemia.
- 2) Pasien dengan Hb 7–10 g/dL, yang disertai hipoksemia berat atau kondisi klinis tertentu.
- 3) Pasien dengan Hb > 10 g/dL biasanya tidak memerlukan transfusi, kecuali ada alasan khusus.
- 4) Bayi baru lahir dengan Hb < 11 g/dL.
- 5) Anemia yang memerlukan peningkatan kapasitas transportasi oksigen.

c. *Thrombocyte Concentrate* (TC)

Thrombocyte Concentrate (TC) adalah komponen darah yang mengandung trombosit dan sekitar 50 ml per kantong. TC disimpan pada suhu $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ dan dapat bertahan 3 hari tanpa alat pengocok, atau hingga 5 hari dengan alat pengocok. Tujuan transfusi TC adalah untuk meningkatkan jumlah trombosit pada pasien, di mana pada orang dewasa setelah diberikan satu kantong, jumlah trombosit meningkat sekitar 5.000–10.000/ μL . Efek samping yang mungkin setelah transfusi termasuk biduran, demam, menggigil, dan alloimunisasi terhadap antigen trombosit donor (Maharani & Noviar, 2018).

Indikasi:

- 1) Kontrol perdarahan pada pasien dengan jumlah trombosit rendah, terutama jika jumlah trombosit di bawah 50.000/ μL . Untuk perdarahan mikro yang luas, transfusi bisa dipertimbangkan jika jumlah trombosit di bawah 100.000/ μL . Untuk perdarahan berat, transfusi bisa diberikan terlepas dari jumlah trombosit.
- 2) Sebagai tindakan pencegahan terhadap perdarahan pada pasien yang akan menjalani operasi, prosedur invasif, atau setelah transfusi masif, jika jumlah trombosit di bawah 50.000/ μL .
- 3) Mengatasi perdarahan pada pasien dengan gangguan fungsi trombosit, bahkan jika jumlah trombosit masih dalam kisaran tertentu.
- 4) Mencegah perdarahan pada trombositopenia yang disebabkan oleh gangguan produksi darah, seperti gagal sumsum tulang.

5. Penyimpanan Darah

Darah disimpan untuk mencegah pembekuan, mempertahankan kelangsungan hidup dan fungsi sel darah sampai transfusi, serta memastikan keamanan produk darah bagi penerima. Metode yang paling sering digunakan adalah penyimpanan darah dalam bentuk cair. Antikoagulan yang ada di dalam kantong darah mengandung nutrisi yang membantu menjaga sel darah tetap hidup selama penyimpanan pada suhu sekitar 4°C (Martha Adiratna et al., 2023).

Berdasarkan lama penyimpanan, *whole blood* (WB) dibagi menjadi *fresh whole blood* (FWB) dan *stored whole blood* (SWB). FWB adalah darah yang disimpan kurang dari 6 jam, sehingga masih mengandung trombosit dan faktor

pembekuan yang labil. Setelah waktu ini, darah dikategorikan sebagai SWB. Penggunaan FWB sekarang tidak lagi disarankan, karena biasanya tidak diuji untuk infeksi yang dapat ditularkan melalui transfusi. Berbagai studi menunjukkan bahwa efek hemostatik SWB sebanding dengan FWB, jadi SWB lebih sering digunakan dalam praktik transfusi. SWB bisa disimpan dengan antikoagulan CPD hingga 21 hari dan dengan CPDA hingga 35 hari pada suhu 2–6°C (Sarwoko & Ferdi, 2022).

Suhu penyimpanan adalah faktor penting untuk menjaga kualitas darah, terutama kemampuan sel darah merah dalam mengangkut oksigen. Jika disimpan pada sekitar 2–6°C, pertumbuhan bakteri seharusnya bisa dicegah dan kontaminasi produk darah bisa dihindari. Namun, suhu terlalu rendah, di bawah 2°C, bisa menyebabkan hemolisis atau kerusakan pada sel darah merah (Suminingsih *et al.*, 2017).

Hemolisis adalah kondisi di mana membran sel darah merah rusak, sehingga hemoglobin keluar dari sel ke plasma. Proses ini bisa dikenali dari warnanya yang agak kemerahan karena hemoglobin bebas. Tingkat hemolisis bisa meningkat seiring lama penyimpanan darah, perubahan suhu, dan faktor biologis individu (Suminingsih *et al.*, 2017).

6. Efek Penyimpanan Darah

a. Perubahan bentuk dan daya hidup sel

- 1) Kehidupan sel darah merah menurun semakin lama disimpan. Kerusakan pada sel darah merah selama pengambilan darah berkisar antara 1–5%, meningkat menjadi sekitar 10% setelah 14 hari disimpan dalam larutan ACD, dan mencapai sekitar 25% setelah 28 hari penyimpanan. Ini menunjukkan bahwa semakin lama darah disimpan, semakin rendah tingkat kelangsungan hidup sel darah merah.
- 2) Kehidupan trombosit dipengaruhi oleh suhu dan lama penyimpanan. Jika disimpan pada suhu yang tepat, trombosit mempertahankan fungsi dan kelangsungan hidupnya lebih baik dibandingkan jika disimpan pada kondisi yang kurang tepat.
- 3) Kehidupan sel darah putih juga menurun selama penyimpanan. Perubahan pada morfologi sel darah putih terjadi sekitar 48 jam setelah

penyimpanan, sementara fungsi sel darah putih bisa menurun atau hilang sepenuhnya dalam waktu sekitar 72 jam.

b. Perubahan kadar ATP (Adenine Tri Posfat)

Penurunan kadar adenosin trifosfat (ATP) selama penyimpanan bisa menyebabkan perubahan pada struktur dan fungsi sel darah merah. Hal ini membuat lipid dari membran sel hilang, bentuk sel darah merah berubah dari cakram bikonkaf menjadi lebih bulat, dan elastisitas membran berkurang, sehingga sel menjadi lebih kaku dan lebih sulit melewati kapiler.

c. Perubahan kadar 2,3 DPG (Difisfogliserat)

Penurunan kadar 2,3-difosfogliserat (2,3-DPG) membuat hemoglobin lebih kuat mengikat oksigen, sehingga lebih sedikit oksigen yang dilepaskan ke jaringan. Karena itu, darah dengan 2,3-DPG rendah tidak begitu efektif dalam meningkatkan pasokan oksigen ke jaringan, bahkan jika kadar hemoglobinnya tinggi. Makanya, darah yang disimpan terlalu lama biasanya tidak ideal untuk pasien yang membutuhkan pasokan oksigen cepat, misalnya saat resusitasi.

d. Perubahan faktor pembekuan

Faktor pembekuan darah berkisar dari Faktor I sampai XIII, tapi faktor V dan VIII dianggap tidak stabil dalam kondisi laboratorium. Kedua faktor ini hanya bisa bertahan sekitar 4–6 jam setelah darah diambil. Makanya, darah yang disimpan biasanya menunjukkan penurunan yang jelas atau tidak lagi cukup aktifitasnya dari faktor V dan VIII (Maharani & Noviar, 2018).

B. Hemoglobin

1. Definisi Hemoglobin

Hemoglobin (Hb) adalah protein yang ada di sel darah merah dan memainkan peran penting dalam pertukaran gas di tubuh. Hemoglobin mengikat oksigen (O_2) di paru-paru, yang kemudian didistribusikan ke seluruh tubuh. Sebaliknya, karbon dioksida (CO_2), yang dihasilkan oleh metabolisme di jaringan, dibawa kembali ke paru-paru untuk dikeluarkan melalui pernapasan. Selain berfungsi sebagai pengangkut gas pernapasan, hemoglobin juga membantu mempertahankan bentuk normal sel darah merah dan memberi darah warna merah khasnya. Perubahan atau kelainan dalam struktur hemoglobin dapat memengaruhi bentuk sel darah merah, yang mengganggu fungsinya dan aliran darah yang lancar dalam pembuluh darah.

Warna merah darah berasal dari besi (Fe) dalam molekul hemoglobin (Yusniati, 2019).

2. Fungsi Hemoglobin

Sebagai komponen utama dalam proses respirasi, hemoglobin berperan mengikat oksigen di paru-paru untuk kemudian didistribusikan ke seluruh jaringan tubuh. Selanjutnya, hemoglobin membawa karbon dioksida yang dihasilkan dari metabolisme sel kembali ke paru-paru agar dapat dikeluarkan melalui proses ekspirasi. Selain berfungsi dalam pertukaran gas, hemoglobin juga berperan dalam mempertahankan keseimbangan asam-basa tubuh serta berinteraksi dengan berbagai molekul sinyal dan senyawa biologis yang berperan dalam berbagai proses fisiologis (Agesti *et al.*, 2024).

3. Kadar Hemoglobin

Kadar hemoglobin merupakan parameter yang menunjukkan jumlah pigmen respiratorik yang terkandung di dalam eritrosit. Pada kondisi normal, konsentrasi hemoglobin dalam darah berkisar sekitar 15 gram per 100 mL darah, yang secara konvensional dinyatakan sebagai nilai 100%. Penetapan nilai normal hemoglobin tidak dapat disamaratakan untuk setiap individu karena dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk perbedaan karakteristik antarpopulasi atau suku bangsa. Oleh sebab itu, Organisasi Kesehatan Dunia (WHO) telah menetapkan nilai rujukan kadar hemoglobin berdasarkan kelompok usia dan jenis kelamin sebagai acuan dalam penilaian status hemoglobin seseorang. Menurut standar yang ditetapkan oleh WHO, kadar hemoglobin normal berbeda berdasarkan kelompok usia dan jenis kelamin. Pada anak usia 6 bulan hingga 6 tahun, kadar hemoglobin normal adalah $\geq 11,0$ g/dL. Anak usia 6–14 tahun memiliki nilai normal $\geq 12,0$ g/dL. Pada pria dewasa, kadar hemoglobin normal adalah $\geq 13,0$ g/dL, sedangkan pada wanita dewasa $\geq 12,0$ g/dL. Adapun pada ibu hamil, batas normal kadar hemoglobin ditetapkan sebesar $\geq 11,0$ g/dL.

4. Metode Pemeriksaan Hemoglobin

1. Metode Sahli

- a) Masukkan larutan HCl 0,1 N ke dalam tabung Sahli hingga mencapai tanda 2 g/dL. Selanjutnya, ambil darah EDTA menggunakan pipet Sahli sampai batas 20 μ L, kemudian masukkan darah ke dasar tabung yang telah

berisi larutan HCl 0,1 N. Homogenkan campuran dengan cara mengisap dan mengeluarkan larutan menggunakan pipet Sahli sebanyak 2–3 kali agar sisa darah yang masih menempel pada pipet ikut tercampur.

- b) Diamkan campuran selama 3–5 menit agar reaksi berlangsung sempurna. Setelah itu, tambahkan akuades secara bertahap tetes demi tetes sambil dihomogenkan menggunakan batang pengaduk. Selama proses pengadukan, hindari terbentuknya gelembung udara karena dapat memengaruhi pembacaan hasil.
- c) Lakukan pencocokan warna larutan dengan warna standar pada alat Sahli. Apabila warna larutan masih tampak lebih pekat dibandingkan standar, tambahkan kembali akuades sedikit demi sedikit, kemudian homogenkan hingga warna larutan sesuai dengan warna standar.
- d) Setelah warna larutan telah sesuai dengan standar, baca hasil pemeriksaan pada skala tabung Sahli dengan memperhatikan posisi meniskus bagian bawah. Selanjutnya, catat kadar hemoglobin yang diperoleh dalam satuan g/dL (Riki Rinaldi et al., 2023).

1. Metode Hb meter

- a) Ambil sampel darah menggunakan mikropipet yang dilengkapi dengan *white tip*, kemudian masukkan sampel ke dalam kuvet sesuai dengan volume yang telah ditentukan.
- b) Setelah kuvet terisi sampel, masukkan kuvet ke dalam alat *Hb meter*. Tunggu hingga proses pengukuran selesai dan nilai kadar hemoglobin muncul pada layar alat. Selanjutnya, catat hasil pemeriksaan kadar hemoglobin yang ditampilkan dalam satuan g/dL (Rahmatullah, 2023).

2. Metode Cyanmethemoglobin

- a) Pipet sebanyak 5 mL larutan Drabkin ke dalam sebuah tabung reaksi yang bersih.
- b) Ambil sampel darah kapiler sebanyak 20 μ L menggunakan pipet, kemudian bersihkan sisa darah yang menempel pada bagian luar pipet menggunakan tisu.
- c) Masukkan sampel darah ke dalam tabung yang telah berisi larutan Drabkin.

- d) Homogenkan sampel dan larutan drakbin dan tunggu selama 3 menit Homogenkan campuran darah dan larutan Drabkin hingga tercampur merata, kemudian diamkan selama kurang lebih 3 menit agar reaksi berlangsung sempurna.
- e) Selanjutnya, ukur absorbansi sampel menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 540 nm dengan larutan Drabkin digunakan sebagai blanko. Hasil pengukuran kemudian digunakan untuk menentukan kadar hemoglobin.

3. Metode Cu-Sulfat

- a) Tuangkan sebanyak 30 mL larutan CuSO_4 ke dalam botol yang bersih dan kering. Botol harus selalu ditutup rapat setiap kali tidak digunakan untuk menjaga kualitas larutan.
- b) Bersihkan ujung jari yang akan digunakan sebagai lokasi pengambilan sampel, kemudian biarkan steril.
- c) Lakukan penusukan pada ujung jari menggunakan lanset steril untuk memperoleh sampel darah kapiler.
- d) Biarkan satu tetes darah jatuh secara bebas dari ketinggian sekitar 1 cm di atas permukaan larutan CuSO_4 ke dalam botol yang berisi larutan.
- e) Amati pergerakan tetesan darah di dalam larutan selama 15 detik.
- f) Interpretasi hasil dilakukan berdasarkan posisi tetesan darah, yaitu darah yang langsung tenggelam menunjukkan kadar hemoglobin lebih dari 12,5 g/dL, darah yang melayang menunjukkan kadar hemoglobin sekitar 12,5 g/dL, sedangkan darah yang tetap mengapung menunjukkan kadar hemoglobin kurang dari 12,5 g/dL.

4. Metode Hematology Analyzer

- a) Hidupkan instrumen dengan menekan sakelar utama (*ON/OFF*) yang berada pada bagian belakang alat.
- b) Tunggu hingga alat menampilkan status *ready* sebagai tanda bahwa instrumen siap digunakan.
- c) Pada layar monitor, pilih menu *Whole Blood* (WB).

- d) Tekan tombol ID sampel dan masukkan nomor sampel lalu tekan tombol enter akan menu ID Sampel, masukkan nomor identitas sampel, kemudian konfirmasikan dengan menekan tombol Enter.
- e) Homogenkan terlebih dahulu sampel darah yang akan diperiksa, kemudian buka tutup tabung dan posisikan tabung di bawah *aspiration probe*. Pastikan ujung *probe* berada hingga dasar tabung agar tidak terjadi pengisapan udara selama proses aspirasi.
- f) Tekan tombol *Start* untuk memulai proses pemeriksaan.
- g) Setelah terdengar bunyi beep sebanyak dua kali, segera lepaskan tabung sampel dari bawah *aspiration probe*.
- h) Hasil pemeriksaan akan ditampilkan pada layar monitor dan secara otomatis dicetak melalui printer yang terhubung dengan alat.
- i) Setelah pemeriksaan selesai, tekan tombol **Standby**. Instrumen akan melakukan proses pencucian (*cleaning*) secara otomatis selama kurang lebih satu menit.
- j) Setelah layar monitor mati, matikan instrumen dengan menekan kembali sakelar utama (*ON/OFF*) yang terletak di bagian belakang alat (Yuniarty *et al.*, 2024)

C. Transfusi Darah

Transfusi darah adalah proses di mana penerima diberikan darah utuh atau komponen darah dari seorang donor. Proses ini dilakukan dengan memastikan bahwa antigen pada sel darah merah donor cocok dengan antibodi dalam serum atau plasma penerima, untuk mencegah reaksi hemolitik (Utami & Aprilia, 2017). Untuk menjamin keamanan transfusi darah, WHO menyarankan sistem layanan transfusi nasional yang terkoordinasi. Ini meliputi pengumpulan darah dari pendonor sukarela dengan risiko rendah, melakukan tes untuk infeksi yang dapat menular seperti HIV, Hepatitis B (HBsAg), Hepatitis C (HCV) dan sifilis, serta menyediakan layanan laboratorium yang mencakup penentuan golongan darah, pemeriksaan kecocokan, penyediaan, penyimpanan, dan distribusi produk darah. Selain itu, keamanan transfusi ditingkatkan dengan hanya menggunakan darah saat benar-benar dibutuhkan dan menerapkan alternatif transfusi yang aman untuk menghindari transfusi yang tidak perlu (Permenkes No 91, 2015). Tujuan dari

transfusi darah adalah untuk mengobati anemia atau kadar hemoglobin yang rendah, menggantikan komponen darah yang hilang atau kurang, dan mengembalikan volume darah akibat kehilangan darah, baik karena operasi maupun kecelakaan (Aliviameita, 2020).

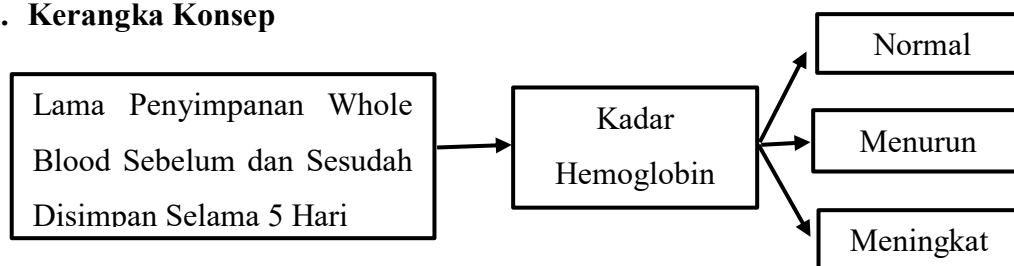
D. Hubungan Penyimpanan Whole Blood dengan Kadar Hemoglobin

Darah disimpan karena kebutuhan akan transfusi darah tidak selalu bisa dipenuhi dengan darah segar yang tersedia. Sebelum digunakan, darah disimpan di lemari pendingin dengan antikoagulan CPDA-1 (Citrates Phosphate Dextrose Adenine-1) pada suhu 2–6 °C. Penyimpanan pada suhu ini membantu mempertahankan kemampuan darah untuk mengangkut oksigen, menyediakan dekstrosa sebagai sumber energi bagi sel, dan memperlambat pertumbuhan bakteri.

Sel darah merah memiliki masa hidup sekitar 120 hari, tetapi sekitar 1–5% sel bisa rusak saat pengambilan darah. Selama penyimpanan, viabilitas sel darah merah terus menurun karena kadar ATP (Adenosin trifosfat) turun, yang bisa memengaruhi kualitas darah untuk transfusi. Dalam manajemen penyimpanan, darah yang siap ditransfusikan harus diatur berdasarkan golongan darah, jenis komponen, dan tanggal kadaluarsa, dengan prinsip First Expired First Out (Saputro & Lestari, 2021).

Daya hidup sel darah merah berkurang semakin lama darah disimpan. Kerusakan pada sel darah merah saat pengambilan darah berkisar antara 1–5% dan meningkat setelah 2 minggu penyimpanan dalam larutan ACD menjadi sekitar 10%, setelah 4 minggu penyimpanan mencapai sekitar 25% (Maharani & Noviar, 2018). Semakin lama darah disimpan, semakin banyak sel darah merah yang mengalami hemolisis, sehingga jumlah sel yang hidup berkurang. Akibat hemolisis, hemoglobin keluar dari sel darah merah ke plasma, yang berarti darah yang disimpan bisa menunjukkan kadar hemoglobin yang lebih tinggi saat diukur (Martha Adiratna *et al.*, 2023).

E. Kerangka Konsep



Gambar 2.3 Kerangka Konsep