

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Transfusi Darah

1. Darah dan komponen penyusunnya

Pada orang dewasa, volume darah diperkirakan berkisar antara 70 hingga 75 mL per kilogram berat badan, atau secara keseluruhan sekitar 4 hingga 6 liter darah. Jumlah ini setara dengan sekitar 7 hingga 8% dari total berat badan seseorang. Darah memiliki peran yang sangat vital dalam tubuh karena berfungsi sebagai media transportasi utama yang mendistribusikan oksigen, karbon dioksida, nutrisi, hormon, dan sisa metabolisme ke seluruh jaringan tubuh. Selain itu, darah juga berperan dalam menjaga kestabilan suhu tubuh, keseimbangan asam-basa, serta membantu dalam sistem kekebalan tubuh dan proses pembekuan darah untuk mencegah kehilangan darah berlebihan saat terjadi luka. Komposisi darah sangat kompleks dan memiliki mekanisme yang saling terkait untuk memastikan bahwa setiap organ dan jaringan dalam tubuh mendapatkan suplai yang dibutuhkan untuk berfungsi dengan optimal (Atkins et al., 2017).

Secara umum, darah terbagi menjadi dua komponen utama, yaitu plasma darah dan bagian seluler atau korpuskuler. Plasma darah merupakan bagian cair darah yang menyusun sekitar 55% dari volume total darah, terdiri dari sekitar 90% air dan sisanya berupa protein plasma seperti albumin, globulin, fibrinogen, serta elektrolit, hormon, nutrisi, dan zat sisa metabolisme (Atkins et al., 2017). Plasma berperan dalam mengangkut berbagai zat penting dan menjaga tekanan osmotik darah. Sementara itu, bagian padat darah atau korpuskuler menyumbang sekitar 45% dari volume darah dan terdiri dari tiga jenis sel darah, yaitu eritrosit (sel darah

merah), leukosit (sel darah putih), dan trombosit (keping darah). Masing-masing komponen ini memiliki fungsi spesifik, di mana eritrosit bertanggung jawab untuk transportasi oksigen dan karbon dioksida, leukosit untuk pertahanan tubuh terhadap infeksi, dan trombosit untuk proses pembekuan darah. Kombinasi dari komponen-komponen ini menjadikan darah sebagai jaringan cair yang kompleks dan sangat penting untuk menjaga kelangsungan hidup organisme (Garraud & Tissot, 2018).

Secara umum, darah memiliki tiga fungsi utama, yaitu:

a. Fungsi Transportasi:

- 1) Mengangkut oksigen (O_2) dari paru-paru ke seluruh jaringan, dan karbon dioksida (CO_2) dari jaringan ke paru-paru.
- 2) Mengedarkan nutrisi hasil pencernaan ke seluruh tubuh.
- 3) Mengangkut sisa metabolisme ke organ ekskresi seperti hati dan ginjal untuk didetoksifikasi atau dibuang.
- 4) Mengangkut hormon dari kelenjar endokrin ke organ target.
- 5) Membantu pengaturan suhu tubuh.

b. Fungsi Perlindungan (Proteksi):

- 1) Leukosit berperan dalam menghancurkan mikroorganisme patogen dan sel-sel kanker.
- 2) Antibodi serta protein plasma lainnya membantu melawan agen infeksius.
- 3) Trombosit mengaktifkan mekanisme pembekuan darah untuk mencegah kehilangan darah berlebihan.

c. Fungsi Regulasi:

- 1) Menjaga keseimbangan pH darah melalui sistem buffer.

- 2) Mengatur keseimbangan cairan melalui osmosis antara plasma dan jaringan tubuh.

Adapun komponen dalam darah adalah:

- a. Plasma Darah

Plasma merupakan cairan berwarna kuning pucat yang terdiri dari 90% air, 8% protein (seperti albumin, globulin, dan fibrinogen), serta 0,9% komponen lainnya (mineral, enzim, hormon, antigen, dan zat sisa metabolisme). Fungsinya adalah mengangkut sari makanan, hormon, dan limbah metabolik ke seluruh tubuh (Jones, 2023).

- b. Korpuskuler (Sel Darah)

Terdiri dari tiga jenis sel utama, yaitu:

- 1) Eritrosit (Sel Darah Merah):

Tidak berinti, berbentuk bikonkaf, dan berfungsi membawa oksigen menggunakan hemoglobin. Jumlah normal pada pria adalah 4,5–5,5 juta/ μL dan pada wanita 4–5 juta/ μL . Dibentuk di sumsum tulang dan memiliki masa hidup sekitar 120 hari.

- 2) Leukosit (Sel Darah Putih):

Memiliki inti sel, berukuran lebih besar dari eritrosit, dan jumlah normalnya berkisar 4.000–10.000/ μL . Berfungsi dalam sistem imun untuk melawan infeksi.

- 3) Trombosit (Platelet):

Fragmen sel tanpa inti, berperan dalam proses hemostasis. Jumlah normal 150.000–450.000/ μL . Mengandung granula yang berisi faktor pembekuan, ADP, ATP, serotonin, dan kalsium.

2. Penyimpanan darah dan metabolisme darah selama penyimpanan

Penyimpanan darah bertujuan untuk menjaga darah tetap dalam kondisi yang aman dan efektif hingga saat transfusi. Proses ini mencegah pembekuan, mempertahankan fungsi biologis sel darah, serta menjamin bahwa darah yang ditransfusikan tidak menimbulkan risiko penyakit bagi pasien. Salah satu metode penyimpanan yang paling umum digunakan adalah penyimpanan dalam bentuk cair menggunakan antikoagulan yang juga mengandung nutrisi untuk menunjang kehidupan sel darah. Jenis antikoagulan yang digunakan meliputi ACD (*Acid Citrate Dextrose*), CPD (*Citrate Phosphate Dextrose*), dan CPDA (*Citrate Phosphate Dextrose Adenine*), masing-masing memiliki durasi penyimpanan yang berbeda, mulai dari 3 minggu hingga 5 minggu tergantung jenis dan volume yang digunakan. Selain itu, terdapat juga larutan aditif seperti AS1 (Adsol) yang memungkinkan darah disimpan hingga 42 hari pada suhu 2–6°C (Spahn & Rossaint, 2005).

Namun, selama penyimpanan, eritrosit mengalami beberapa perubahan (Jones, 2023):

1. Penurunan Daya Hidup Eritrosit:

Sekitar 1–5% eritrosit rusak saat penyimpanan awal. Kerusakan meningkat seiring waktu, terutama karena kekakuan membran dan hilangnya lipid membran. Dalam suhu 4°C, eritrosit mulai rusak signifikan setelah 1–2 minggu.

2. Penurunan ATP:

ATP diperlukan untuk mempertahankan bentuk dan fleksibilitas eritrosit. Penurunan ATP menyebabkan sel menjadi kaku, bentuk berubah, dan akhirnya rusak.

3. Penurunan 2,3-DPG (*Diphosphoglycerate*):

Diphosphoglycerate mempengaruhi kemampuan hemoglobin melepaskan oksigen ke jaringan. Semakin lama penyimpanan, kadar DPG menurun sehingga hemoglobin lebih sulit melepaskan oksigen, yang menurunkan efikasi transfusi.

Oleh karena itu, sistem penyimpanan harus mengikuti prinsip *First Expired, First Out (FEFO)* untuk meminimalkan risiko penurunan kualitas darah. Pemantauan terhadap perubahan kadar hemoglobin dan jumlah eritrosit penting dilakukan agar mutu dan efikasi darah transfusi tetap optimal.

B. Packed Red Cell (PRC)

Packed Red Cell (PRC) merupakan salah satu komponen darah yang diperoleh dari hasil pemisahan plasma pada darah lengkap (Whole Blood/WB), baik melalui proses pengendapan saat penyimpanan maupun sentrifugasi dengan kecepatan tinggi. Sekitar dua pertiga plasma akan dibuang, sehingga menghasilkan PRC dengan volume sekitar 200–250 mL dari 350–450 mL darah lengkap, mengandung kadar hematokrit 55–75%, volume plasma 50 mL, dan antikoagulan sebanyak 10–15 mL. PRC umumnya digunakan untuk pasien anemia yang tidak mengalami kehilangan volume darah secara signifikan, seperti pada kasus leukemia, anemia hemolitik, talasemia, atau gagal ginjal kronik (Ng et al., 2018).

Sebagai produk darah yang paling umum digunakan secara global, PRC memiliki masa simpan sekitar 35 hari jika menggunakan antikoagulan CPDA (Citrate Phosphate Dextrose Adenine) dan dapat diperpanjang hingga 42 hari dengan penggunaan larutan aditif (seperti AS1, Adsol, atau Nutricel). PRC efektif dalam meningkatkan kadar hemoglobin (Hb) dan hematokrit pasien, dengan satu unit PRC mampu menaikkan Hb sekitar 1 g/dL dan hematokrit sekitar 3–5%. Meski

demikian, selama masa penyimpanan dapat terjadi perubahan pada morfologi dan metabolisme eritrosit, yang dikenal sebagai storage lesion, akibat kerusakan oksidatif dari radikal bebas yang menurunkan kualitas sel darah merah (Mulatie et al., 2023).

Indikasi pemberian PRC didasarkan pada kondisi klinis dan kadar hemoglobin pasien. Transfusi biasanya dibutuhkan pada pasien dengan kehilangan darah akut >30%, kadar Hb <7 g/dL, atau gejala anemia simtomatik. Pada pasien perioperatif, transfusi disesuaikan dengan tingkat Hb dan risiko iskemia organ. Dalam kasus Hb >10 g/dL, transfusi umumnya tidak dianjurkan. Dibandingkan dengan darah lengkap, PRC memiliki keunggulan seperti mengurangi risiko overload sirkulasi, reaksi transfusi dari plasma, antibodi donor, dan volume antikoagulan yang berlebih. Selain itu, penggunaan PRC lebih efisien karena sisa plasmanya dapat dimanfaatkan untuk pembuatan komponen darah lain. (Kafle et al., 2018)

C. Hemoglobin

1. Pengertian hemoglobin

Hemoglobin adalah suatu metaloprotein, yaitu protein yang mengandung unsur logam, dalam hal ini zat besi (Fe), yang terdapat di dalam sel darah merah (eritrosit). Hemoglobin memiliki peran utama dalam mengangkut oksigen (O_2) dari paru-paru ke seluruh jaringan tubuh dan membawa karbon dioksida (CO_2) dari jaringan kembali ke paru-paru untuk dikeluarkan melalui proses ekspirasi. Molekul hemoglobin terdiri atas empat rantai polipeptida (globin), yang membentuk dua pasang subunit—biasanya dua rantai alfa dan dua rantai beta—serta empat gugus heme, yang masing-masing mengandung satu atom besi (Fe^{2+}) sebagai tempat

pengikatan oksigen. Struktur kompleks ini memungkinkan hemoglobin mengikat oksigen secara reversibel dan efisien (Bain, 2020).

Penurunan kadar hemoglobin dapat terjadi pada berbagai kondisi, seperti anemia defisiensi zat besi, perdarahan, peningkatan volume plasma seperti saat kehamilan, atau peningkatan asupan cairan. Dalam kasus kehamilan, meskipun terjadi peningkatan produksi eritrosit akibat rangsangan hormon eritropoetin dari ginjal, peningkatan volume plasma lebih besar sehingga konsentrasi hemoglobin tetap menurun. Misalnya, kadar Hb yang awalnya 15 g/dL bisa menurun menjadi 12,5 g/dL, dan pada sekitar 6% wanita hamil bisa mencapai kurang dari 11 g/dL. Selain itu, gaya hidup seperti pola makan yang buruk, kurang tidur, dan kebiasaan begadang juga berkontribusi terhadap penurunan kadar hemoglobin dalam tubuh (Steinmeyer et al., 2020).

2. Kadar hemoglobin

Kadar hemoglobin yang normal pada manusia bervariasi tergantung usia, jenis kelamin, serta kondisi fisiologis dan kesehatan seseorang. Secara umum, kadar hemoglobin normal adalah sekitar 15 gram per 100 mL darah. Namun demikian, World Health Organization (WHO) telah menetapkan standar kadar hemoglobin berdasarkan kelompok usia dan jenis kelamin, sebagaimana tercantum dalam tabel berikut (Gell, 2018):

Tabel 1
Nilai Normal Kadar Hemoglobin

Kelompok Umur / Kondisi	Batas Normal Hemoglobin (g/dL)
Bayi usia 6 bulan – 6 tahun	$\geq 11,0$ g/dL
Anak usia 6 – 14 tahun	$\geq 12,0$ g/dL
Pria Dewasa	$\geq 13,0$ g/dL
Wanita Dewasa	$\geq 12,0$ g/dL
Ibu Hamil	$\geq 11,0$ g/dL

Sumber: (WHO, 2024)

Nilai-nilai ini menjadi acuan dalam menilai apakah seseorang mengalami anemia atau tidak.

3. Struktur hemoglobin

Hemoglobin terdiri dari empat subunit protein (globulin chains), yaitu dua rantai alfa dan dua rantai beta, yang membentuk struktur tetramerik. Setiap subunit memiliki gugus heme yang mengandung satu atom besi (Fe^{2+}), yang berperan sebagai tempat pengikatan oksigen. Hemoglobin dewasa yang normal disebut HbA (Hemoglobin A), dan tersusun dari dua rantai alfa dan dua rantai beta ($\alpha_2\beta_2$). Sementara pada janin, jenis hemoglobin yang dominan adalah HbF (Hemoglobin Fetal), yang terdiri dari dua rantai alfa dan dua rantai gamma ($\alpha_2\gamma_2$). Masing-masing subunit memiliki berat molekul sekitar 16.000 Dalton, sehingga seluruh molekul hemoglobin dewasa memiliki berat molekul total sekitar 64.000 Dalton. Ikatan antar subunit bersifat non-kovalen, memberikan fleksibilitas pada struktur hemoglobin untuk berinteraksi dengan oksigen secara dinamis (Caulfield et al., 2024).

4. Fungsi hemoglobin

Fungsi utama hemoglobin adalah sebagai pembawa oksigen dan karbon dioksida dalam sistem peredaran darah, dengan mekanisme sebagai berikut (Steinmeyer et al., 2020):

a) Transportasi Oksigen (O_2)

Hemoglobin mengikat oksigen di paru-paru untuk kemudian mendistribusikannya ke jaringan tubuh yang memerlukan. Ikatan antara hemoglobin dan oksigen bersifat reversibel, memungkinkan oksigen dilepaskan saat dibutuhkan di jaringan. Hemoglobin bekerja sebagai molekul alosterik yang mengalami perubahan bentuk saat mengikat oksigen, meningkatkan afinitasnya terhadap molekul oksigen berikutnya fenomena ini disebut sebagai *kooperativitas*, yang menghasilkan kurva disosiasi oksigen berbentuk sigmoid (Madangarli et al., 2019).

b) Pengangkut Karbon Dioksida (CO_2)

Setelah proses metabolisme terjadi di jaringan, hemoglobin membantu mengangkut karbon dioksida kembali ke paru-paru. Sebagian CO_2 diangkut dalam bentuk terikat pada hemoglobin sebagai karbaminohemoglobin. Fungsi ini sangat penting dalam menjaga keseimbangan asam-basa tubuh dan membuang sisa metabolisme secara efisien (Spahn & Rossaint, 2005).

c) Mempertahankan Bentuk Sel Darah Merah

Hemoglobin juga berkontribusi terhadap bentuk bikonkaf eritrosit yang fleksibel. Struktur ini memungkinkan eritrosit bergerak dengan lancar melalui kapiler-kapiler kecil. Jika struktur hemoglobin terganggu, maka bentuk sel darah merah bisa berubah, sehingga keluwesannya dalam sirkulasi juga terganggu.

Dengan demikian, hemoglobin bukan hanya sekadar molekul pengangkut gas, tetapi juga merupakan komponen penting dalam menjaga homeostasis dan efisiensi fungsi sistem sirkulasi tubuh.

5. Metode pemeriksaan kadar hemoglobin

Penetapan kadar hemoglobin dapat dilakukan melalui beberapa metode, antara lain (Puspitasari dkk., 2020):

a. Metode sahli

Metode Sahli merupakan satu cara penetapan hemoglobin secara visual. Darah diencerkan dengan larutan HCl sehingga hemoglobin berubah menjadi asam hematin. Untuk dapat menentukan kadar hemoglobin, dilakukan dengan mengencerkan campuran larutan tersebut dengan aquades sampai warnanya sama 13 dengan warna standar di tabung gelas. Pada metode ini, tidak semua hemoglobin berubah menjadi hematin asam seperti karboksihemoglobin, methemoglobin dan sulfhemoglobin. Penyimpangan hasil pemeriksaan cara visual ini sampai 15-30%, sehingga tidak dapat untuk menghitung indeks eritrosit

Pemeriksaan ini masih sering dilakukan di beberapa klinik laboratorium kecil dan puskesmas karena membutuhkan alat sederhana. Namun, kesalahan dapat mencapai 15–30 persen. Beberapa faktor kesalahan muncul karena metode ini tidak mengubah semua hemoglobin menjadi asam hematinat. Kesalahan lainnya termasuk pemipetan yang tidak tepat, standar warna yang kedaluwarsa, penggunaan batang pengaduk yang terus-menerus untuk menggabungkan pengenceran, sumber cahaya, perbedaan warna, dan kelelahan mata (Dameuli, 2018).

b. Metode CuSO_4 (Copper Sulfate)

Metode ini adalah tes kualitatif berdasarkan berat jenis. Darah donor turun ke dalam larutan tembaga sulfat (Cu-sulfat) dan menjadi terbungkus dalam kantung tembaga proteinate, yang mencegah setiap perubahan dalam berat jenis sekitar 15 detik. Jika hemoglobin sama dengan atau lebih dari 12,5 gram/dL, maka akan tenggelam dalam waktu 15 detik, yang berarti donor dapat diterima. Penentuan Hb ini biasanya hanya digunakan untuk pemeriksaan Hb masal atau untuk donor karena metode ini bersifat kualitatif (Nugraha, 2017).

c. Metode cyanmethemoglobin

Darah diencerkan dalam larutan kalium sianida dan kalium ferri sianida. Kalium ferri sianida mengoksidasi Hb menjadi Hi (methemoglobin) dan kalium sianida menyediakan ion sianida (CN^-) untuk membentuk HiCN 14 (cyanmethemoglobin), yang memiliki penyerapan maksimum yang luas pada panjang gelombang 540 nm. Pemeriksaan ini dilakukan berdasarkan kolorimetri dengan menggunakan alat spektrofotometer atau fotometer, sama dengan pemeriksaan Hb menggunakan metode oksihemoglobin dan alkali hematin. Karena kesalahannya hanya 2%, Metode ini disarankan untuk menentukan kadar hemoglobin. Reaktan yang digunakan dikenal sebagai drabkins, yang mengandung berbagai macam bahan kimia yang dapat menghasilkan warna yang sebanding dengan kadar hemoglobin dalam darah ketika direaksikan dengan darah. Alat pengukur, reagen, dan teknik analisis adalah sumber kesalahan pemeriksaan metode ini (Dameuli, 2018).

d. Metode hemoglobinometer digital atau *point of care testing (POCT)*

Hemoglobinometer digital merupakan metode kuantitatif yang terpercaya dalam mengukur konsentrasi hemoglobin. Bahan kimia yang terdapat pada strip

adalah ferrosianida. Pemeriksaan metode ini terdapat reaksi tindak balas yang akan menghasilkan arus elektrik dan jumlah elektrik yang dihasilkan adalah bertindak balas langsung dengan konsentrasi hemoglobin. Hemoglobinometer digital 21 merupakan alat yang mudah dibawa karena teknik untuk pengambilan sampel darah yang mudah dan pengukuran kadar hemoglobin tidak memerlukan penambahan reagen. Instrument Hb meter didesain untuk menjadi portabel, sehingga mudah dibawa dan dioperasikan. Hb meter digunakan dengan strip atau reagen kering. Metode POCT dengan prinsip reflectance (pemantulan) menggunakan Hb meter untuk mengukur kadar hemoglobin. Metode ini menggunakan strip untuk membaca warna yang terbentuk dari reaksi antara sampel yang mengandung bahan tertentu 15 dan reagen yang ada. Warna yang terbentuk kemudian dibaca oleh alat (Faatih, 2017).

e. Hematologi analyzer

Hematology analyzer secara impedance memiliki prinsip utama dimana sel-sel darah yang telah dicampur dengan diluent akan melewati sebuah aperture yang dipasang dua elektroda pada dua sisinya yang pada masingmasing sisi tersebut ada arus listrik yang berjalan secara berlanjut. Apabila ada sel yang melewati aperture tersebut akan menyebabkan peningkatan hambatan listrik (impedance) pada kedua elektroda sesuai dengan volume sel (ukuran sel) yang melewati. Sedangkan pada hematology analyzer menggunakan metode fluorescence flowcytometry (optik) menggunakan sistem laser dan metode pewarnaan sel sehingga pengukuran tidak hanya berdasarkan ukuran sel namun dapat melihat bentuk dan struktur sel alat hematology analyzer memiliki beberapa kelebihan yaitu efisiensi waktu, volume sampel yang lebih sedikit, dan ketepatan hasil lebih baik. Pada alat hematology

analyzer juga terdapat beberapa metode yaitu metode Impedance, flowcytometri cell counter (optik) dan fluorescence cytometry (Michelson, 2009)

D. Penyimpanan Darah

Penyimpanan darah donor dilakukan untuk menjaga kualitas komponen darah sebelum digunakan dalam transfusi. Darah yang tidak segera ditransfusikan harus disimpan di dalam refrigerator blood bank dengan suhu yang stabil antara 2–6°C. Pada suhu ini, proses glikolisis dapat diperlambat, sehingga komponen darah seperti eritrosit dapat tetap mempertahankan fungsinya. Untuk menjamin keamanan dan mutu darah selama penyimpanan, darah harus disimpan di tempat yang terbatas aksesnya, hanya dapat diakses oleh petugas berwenang, serta harus menggunakan alat pendingin yang memiliki sistem monitoring suhu yang akurat (Endro dkk., 2020).

Setiap refrigerator untuk penyimpanan darah wajib memiliki alat pengukur suhu seperti sensor dan termometer yang dikalibrasi minimal satu kali dalam setahun. Deviasi suhu terhadap alat standar tidak boleh lebih dari 1°C. Di samping itu, alat pendingin harus dilengkapi alarm suhu batas atas dan bawah, yang akan menyala ketika terjadi perubahan suhu ekstrem, misalnya saat listrik padam. Pemeriksaan dan dokumentasi fungsi alarm juga harus dilakukan secara berkala untuk memastikan darah disimpan dalam kondisi ideal. Jika suhu penyimpanan tidak stabil, maka risiko kerusakan sel darah meningkat, yang dapat menurunkan efektivitas darah saat ditransfusikan (Salsabila dkk., 2022).

Selama darah disimpan di luar tubuh atau *in vitro*, akan terjadi perubahan metabolisme karena kondisi lingkungan yang tidak sama seperti dalam tubuh. Perubahan ini dapat memengaruhi daya hidup eritrosit (sel darah merah). Saat darah

pertama kali disimpan dalam kantong dengan antikoagulan, sekitar 1–5% eritrosit mengalami kerusakan. Setelah dua minggu penyimpanan menggunakan larutan *Acid Citrate Dextrose* (ACD), sekitar 10% eritrosit akan hancur dalam 24 jam setelah transfusi. Jika darah disimpan hingga empat minggu, maka sekitar 25% eritrosit akan musnah dalam jam-jam pertama pasca transfusi. Oleh karena itu, efektivitas penyimpanan diukur dari persentase eritrosit yang masih hidup 24 jam setelah transfusi, dengan standar minimal 70% (Hanifa dkk., 2022).

Beberapa faktor dapat menyebabkan menurunnya daya hidup eritrosit selama penyimpanan, seperti perubahan kekakuan membran sel dan hilangnya lipid membran yang tidak dapat dicegah meskipun darah disimpan pada suhu 4°C. Jenis antikoagulan yang digunakan juga memengaruhi stabilitas darah. Antikoagulan heparin, misalnya, menyebabkan kerusakan sel darah merah lebih cepat, dengan daya hidup post-transfusi yang turun drastis menjadi kurang dari 60% setelah 10 hari penyimpanan. Trisodium sitrat juga memberikan efek serupa, di mana setelah satu minggu hanya 50% eritrosit yang masih hidup, dan hampir seluruhnya rusak dalam dua minggu (Ningrum & Khairinisa, 2022).

Untuk meningkatkan daya hidup sel darah merah selama penyimpanan, ditambahkan dextrose dalam larutan antikoagulan. Dextrose berfungsi sebagai sumber energi yang diperlukan untuk mempertahankan proses metabolisme, terutama dalam sintesis senyawa penting seperti ATP dan 2,3-Diphosphoglycerate (2,3-DPG). Ketersediaan energi ini membantu mempertahankan struktur dan fungsi eritrosit sampai waktu transfusi. Oleh karena itu, formulasi antikoagulan yang mengandung dextrose seperti CPDA menjadi pilihan utama dalam penyimpanan darah, khususnya komponen *Packed Red Cell* (PRC) (Sumoko, 2020).