

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Tinjauan Teori

1. Definisi Darah

Darah merupakan jaringan cair yang tersusun dari dua bagian, yaitu 55% plasma darah (bagian cair darah) dan 45% sel darah (bagian padat darah). Sel darah terdiri atas tiga jenis yaitu eritrosit, leukosit dan trombosit. Secara keseluruhan volume darah dalam tubuh yaitu sekitar 5 liter (Pearce, 2019).

a. Plasma darah

Plasma darah adalah cairan yang membentuk sekitar 5% dari berat tubuh manusia sekaligus menjadi cairan penyusun darah. Plasma darah berwarna kekuningan dan terdiri dari 90% air, 8% protein, 0,9% (mineral, oksigen, enzim, antigen) dan bahan organik (lemak, kolesterol, urea, asam amino dan glukosa).

Peran plasma darah adalah untuk mengedarkan sari makanan ke seluruh tubuh, serta untuk mengangkut sisa metabolisme sel tubuh atau seluruh jaringan tubuh ke organ ekskresi untuk dibuang.

Protein yang larut dalam plasma darah, antara lain :

- Albumin memiliki fungsi menjaga tekanan osmotik.
- Globulin untuk membentuk antibodi.
- Faktor pembekuan darah yang berfungsi untuk proses hemostasis.

Plasma yang terdapat sekitar 55% dari darah bisa didapatkan dengan cara diputar dengan kecepatan 3000 rpm dalam waktu 30 menit (Maharani dan Noviar, 2018).

b. Sel Darah

1) Sel darah merah (eritrosit)

Eritrosit berasal dari bahasa Yunani, yakni *erythos* memiliki arti merah dan *kythos* yang mempunyai arti selubung/sel. Eritrosit adalah penyusun darah yang memiliki kandungan hemoglobin (Hb).

Hemoglobin berfungsi untuk mengikat oksigen, sedangkan warna merah pada darah dipengaruhi oleh oksigen yang berasal dari paru-paru. Hemoglobin akan melepas oksigen ke dalam sel lalu mengikat karbon dioksida ketika darah mengalir ke seluruh tubuh. Kadar hemoglobin normal pada orang dewasa sekitar 11,5 - 15,0 gram per cc darah (Maharani dan Noviar, 2018).

Eritrosit memiliki peran penting untuk mengangkut oksigen dari paru ke jaringan dan membantu pembuangan hasil metabolisme jaringan tubuh yaitu karbondioksida dan proton. Untuk melakukan pertukaran gas ini, eritrosit membutuhkan gas yang disebut hemoglobin. Sebanyak 640 juta molekul hemoglobin terdapat dalam setiap eritrosit. Proses eritropoiesis yang teratur dengan baik di dalam sumsum tulang dapat menghasilkan sekitar 10^{12} eritrosit (sel darah merah) baru setiap harinya dan juga dapat menghasilkan retikulosit yang mengandung sedikit RNA ribosom serta dapat mensintesis hemoglobin (Utami, 2017).

Jumlah eritrosit dalam tubuh dapat berkurang, dan kadar hemoglobin dalam eritrosit mengalami penurunan. Kondisi ini dikenal dengan anemia dan biasanya dapat terjadi karena perdarahan hebat, anemia hemolitik dan gangguan eritropoiesis (Maharani dan Noviar, 2018).

Eritrosit memiliki bentuk cakram bikonkaf, berdiameter 6-8 μm dengan tebal 2 μm . Jika dibandingkan dengan sel darah lainnya, sel darah merah adalah sel terkecil dalam tubuh selain trombosit dan memiliki jumlah terbanyak dibanding sel darah lain. Dalam keadaan normal, terdapat 5 juta eritrosit per mm^3 pada pria dewasa dan 4,5 juta eritrosit per mm^3 pada wanita dewasa (Maharani dan Noviar, 2018).

Sel darah merah (eritrosit) dapat hidup selama 120 hari. Eritropoiesis adalah proses pembentukan eritrosit. Eritrosit yang rusak akan lisis dan menjadi partikel-partikel kecil dalam limpa dan hati. Sel darah merah sebagian besar akan dihancurkan di limpa, dan sebagian lagi akan dihancurkan oleh hati. Zat besi dari hemoglobin akan disimpan di

hati yang kemudian akan diangkut ke sumsum tulang oleh darah untuk membentuk sel darah merah baru. Sekitar 2 juta eritrosit akan diproduksi oleh sumsum tulang per detik. Proses ini distimulasi oleh hormon eritropoetin (EPO) yang di produksi oleh ginjal (Maharani dan Noviar, 2018).

2) Sel darah putih (leukosit)

Jika dibandingkan dengan eritrosit, sel darah putih atau leukosit memiliki ukuran yang lebih besar. Pada orang dewasa normalnya mengandung 4.000-10.000 sel leukosit/mm³. Leukosit memiliki nukleus dan sebagian besar leukosit dapat bergerak seperti amoeba serta dapat menembus dinding kapiler. Leukosit dibentuk dalam sumsum tulang, kelenjar limfa dan juga limpa. leukosit tidak memiliki warna (bening), bentuk yang tetap (amoeboid) berinti, dan memiliki ukuran yang lebih besar dari eritrosit (Maharani dan Noviar, 2018).

3) Trombosit

Trombosit memiliki ukuran jauh lebih kecil daripada eritrosit dan leukosit. Pada orang dewasa nilai normal trombosit adalah 150.000 - 500.000 per mm³ darah. Trombosit memiliki peran penting dalam proses pembekuan darah. Dalam kondisi luka atau cedera trombosit akan melepaskan substansi bersama faktor pembekuan lain dalam plasma untuk menghasilkan benang fibrin. Kemudian, fibrin akan membentuk jaring halus yang menjerat eritrosit untuk menghasilkan pembekuan dan mencegah terjadinya pendarahan. Trombosit dapat disimpan sampai dengan 5 hari sebelum dilakukan transfusi darah (Aliviameita, 2020).

2. Fungsi Darah

a. Sebagai transportasi substansi berikut :

- 1) Mengedarkan O₂ dan CO₂ melalui paru-paru dan seluruh tubuh.
- 2) Mengedarkan nutrisi dari proses pencernaan ke seluruh tubuh.
- 3) Mengangkut hasil pembuangan tubuh untuk dibuang oleh hati dan ginjal
- 4) Transportasi hormon dari kelenjar target sel

- 5) Mengatur temperatur/suhu dalam tubuh.
- b. Sebagai proteksi, darah memiliki banyak peran saat proses inflamasi :
 - 1) Leukosit dapat menghancurkan mikroorganisme patogen dan sel kanker.
 - 2) Antibodi dan protein lainnya dapat menghancurkan substansi patogen.
 - 3) Trombosit menginisiasi faktor pembekuan darah untuk meminimalisasi kehilangan darah.
- c. Sebagai regulator, darah memiliki peran untuk meregulasi (mengatur) :
 - 1) pH oleh interaksi asam dan basa
 - 2) Keseimbangan air dalam tubuh menjaga pertukaran air dari luar jaringan atau sebaliknya (Maharani dan Noviar, 2018)

3. Transfusi Darah

Transfusi darah adalah pemberian darah utuh atau komponen darah dari satu orang (donor) ke orang lain (resipien), asalkan antigen sel darah merah donor dan antibodi serum atau plasma penerima cocok, sehingga tidak menimbulkan reaksi hemolitik (Utami, 2018). *World Health Organization* (WHO) sudah memberikan strategi untuk terciptanya transfusi darah yang aman dan meminimalisir risiko tranfusi. Melalui pelayanan transfusi yang terkoordinir secara nasional; pengumpulan darah yang berasal dari donor sukarela dari populasi risiko rendah; uji saring dari penyebab infeksi, seperti HIV, HbsAg, HCV, Sifilis dan lainnya, juga dengan pelayanan laboratorium terpadu dalam seluruh aspek, yaitu golongan darah, uji kompatibilitas, penyediaan produk darah, proses penyimpanan dan alur transportasi produk darah; mengurangi transfusi darah yang tidak perlu dengan penentuan indikasi transfusi darah dan komponen darah yang tepat, dan indikasi cara alternatif transfusi (Permenkes No. 91, 2015). Transfusi darah mempunyai tujuan, yaitu mengatasi anemia atau terjadinya penurunan kadar Hb, mengganti komponen darah lainnya, serta mengganti hilangnya cairan akibat perdarahan, karena operasi maupun kecelakaan (Aliviameita, 2020).

4. Produk Darah

Pemisahan produk darah dapat dilakukan dengan teknik fisik dan mekanik yang tidak memerlukan tambahan bahan kimia melalui proses sentrifugasi dan pengendapan. Pengolahan darah dilakukan melalui prosedur tertentu untuk memisahkan komponen darah donor menjadi komponen yang siap digunakan. Untuk mendapat produk yang baik, jaminan kualitas dan tingkat keamanan harus diperhatikan dalam setiap proses. Pemisahan komponen darah harus secara aseptis menggunakan kantong darah *double*, kantong darah *single* dengan kantong *transfer*. (Maharani dan Noviar, 2018).

a. *Whole Blood* (WB)



Sumber: Maharani, 2018

Gambar 2.1. *Whole Blood*

Whole blood (WB) adalah produk darah lengkap yang mengandung eritrosit, leukosit, trombosit, dan plasma. Dalam satu kantong WB terkandung sekitar 450 mL darah dan 63 mL antikoagulan. Nilai hematokritnya yaitu 36- 44%, WB disimpan pada suhu 4 ± 2 °C. Isi utama WB terdiri dari eritrosit dan plasma, hal ini karena trombosit dan leukosit tidak mampu hidup lama pada suhu dingin (1 sampai 6°C). Antikoagulan yang digunakan dalam kantong darah dapat mempengaruhi masa hidup eritrosit, dengan CPD dapat bertahan selama 21 hari, dan dengan CPDA dalam bertahan selama 35 hari). Selama penyimpanan akan terjadi

penurunan kadar 2,3 DPG intrasitoplasmik molekul yang berperan dalam pelepasan oksigen dari Hb. Saat proses penyimpanan WB lebih dari 24 jam, faktor pembekuan stabil, albumin dan globulin akan tetap terjaga, sedangkan faktor pembekuan V dan VIII akan berkurang. Platelet atau granulosit juga akan mengalami penurunan selama proses penyimpanan (Maharani dan Noviar, 2018).

Indikasi:

- 1) Pengganti sel darah merah pada keadaan perdarahan akut /masif yang disertai hipovolemia (kehilangan cairan tubuh > 30%)
- 2) Anemia
- 3) Operasi bedah mayor dengan perdarahan >1500 ml
- 4) Pasien yang memerlukan transfusi PRC, namun di tempat itu tidak tersedia PRC.

b. *Packed Red Cell (PRC)*



Sumber: Maharani, 2018

Gambar 2.2. *Packed Red Cell*

Packed red cell (PRC) mempunyai kandungan terbanyak yaitu eritrosit dengan nilai hematokrit 70%. *Packed red cell* dapat disimpan pada suhu $4 \pm 2^{\circ}\text{C}$. Transfusi PRC dapat dilakukan melalui uji (*crossmatch*) antara darah donor dan pasien. *Packed red cell* dapat digunakan untuk meningkatkan jumlah eritrosit. Sama halnya dengan WB, dalam satu kantong transfusi PRC meningkatkan kadar hemoglobin (Hb) dan hematokrit. *Packed Red Cell* dapat mengurangi volume transfusi,

memungkinkan transfusi cocok serasi tidak identik ABO pada keadaan darurat. Pemisahan sel eritrosit dengan bagian darah lainnya dapat dilakukan dengan proses sentrifugasi. Eritrosit yang terbentuk tetap berfungsi sebagai pengangkut oksigen tanpa banyaknya plasma yang dapat mengurangi efek terapeutik dari transfusi. Tentunya hal ini sangat penting untuk pasien yang sulit untuk mengatur volume darahnya, penderita anemia kronis, dan gagal jantung kongestif (Maharani dan Noviar, 2018).

Indikasi:

- 1) Indikasi klien dengan kadar Hb < 7 g/dL dapat ditunda jika asimptomatik
- 2) Kadar Hb 7-10 g/dL bila disertai hipoksemia berat
- 3) Bila Hb > 10 g/dL tidak diberikan tranfusi, kecuali bila ada indikasi tertentu
- 4) Pada neonatus kadar Hb < 11 g/dL
- 5) Anemia

c. *Washed Red Cell (WRC)*



Sumber: Maharani, 2018

Gambar 2.3. *Washed Red Cell*

Washed red cell dihasilkan dari proses pencucian *packed red cell* menggunakan saline (Nacl 0,9%) sebanyak 2-3 kali dan sisa plasma akan habis terbuang. Dalam waktu 24 jam, WRC harus digunakan karena proses pencucian dilakukan dengan cara terbuka. Pencucian eritrosit dapat memisahkan eritrosit dengan leukosit, sisa trombosit dan protein plasma.

Washed red cell digunakan untuk orang yang mempunyai alergi berat akibat proses transfusi berulang serta reaksi yang tidak dapat dicegah oleh antihistamin. Bermanfaat untuk penderita yang tidak dapat menerima komponen plasma, yaitu digunakan untuk pengobatan *acquired hemolytic anemia* dan *exchange transfusion*. Masa simpan yang singkat (4 sampai 6 jam) dan bahaya infeksi saat proses merupakan kelemahan yang dimiliki oleh WRC (Maharani dan Noviar, 2018).

Indikasi:

- 1) Untuk pasien yang mempunyai alergi atau demam pada transfusi sebelumnya
- 2) Pasien dengan hiperkalemia

d. *Thrombocyte Concentrate* (TC)



Sumber: Maharani, 2018

Gambar 2.4. *Thrombocyte Concentrate*

Thrombocyte Concentrate berisi trombosit yang dalam satu kantong berisi 50 mL, dengan suhu sekitar 20 ± 2 °C, TC dapat disimpan selama 3 hari tanpa agitator dan 5 hari jika menggunakan agitator. *Thrombocyte Concentrate* berfungsi untuk menaikkan jumlah trombosit dalam tubuh pasien. Pada orang dewasa dapat meningkatkan 5000-10000/ μ L trombosit setelah transfusi. Efek yang dapat muncul pasca transfusi TC, yaitu urtikaria, demam, menggigil dan aloimunisasi antigen trombosit donor (Maharani dan Noviar, 2018).

Indikasi:

- 1) Mengatasi perdarahan pada pasien dengan trombositopenia bila hitung trombositopenia bila hitung trombosit $< 50.000/uL$, bila terdapat perdarahan mikrovaskular difus batasnya menjadi $< 100.000/uL$, atau berapapun jumlah trombosit dengan perdarahan masif
- 2) Untuk pasien operasi, prosedur *invasive* lainnya atau setelah transfusi masif harus dilakukan profilaksis jika jumlah trombosit $< 50.000/uL$
- 3) Pasien yang memiliki kelainan fungsi trombosit yang mengalami perdarahan
- 4) Pencegahan perdarahan akibat trombositopenia, seperti yang terjadi pada kegagalan sumsum tulang

e. *Fresh Frozen Plasma* (FFP)



Sumber: Maharani, 2018

Gambar 2.5. *Fresh Frozen Plasma*

Fresh Frozen Plasma mengandung plasma dan faktor pembekuan labil. *Fresh Frozen Plasma* memiliki volume sekitar 150-220 mL. Suhu

penyimpanan FFP yaitu $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$. *Fresh Frozen Plasma* dapat disimpan selama 1 tahun. *Fresh Frozen Plasma* berfungsi untuk menaikkan faktor pembekuan labil jika tidak ada faktor pembekuan pekat/*cryoprecipitate*. Pemberian FFP cocok untuk golongan darah ABO dengan erisosit pasien. Transfusi FFP dapat dilakukan 6 jam sesudah dicairkan. Efek yang dapat muncul setelah transfusi FFP yaitu urtikaria, mengigil, demam, hipervolemia. *Fresh Frozen Plasma* adalah bagian dari WB yang diambil lalu dibekukan selama 6-8 jam. Dari proses tersebut, FFP juga mengandung faktor koagulasi labil (VIII, V), semua faktor pembekuan lainnya, serta protein plasma (Maharani dan Noviar, 2018).

Indikasi:

- 1) Mengganti defisiensi faktor IX (Hemofilia B) dan faktor inhibitor koagulasi baik yang didapat atau bawaan jika tidak ada konsentrat faktor spesifik/kombinasi.
- 2) Netralisasi hemostasis setelah terapi heparin jika terdapat perdarahan akut.
- 3) Adanya perdarahan dengan parameter koagulasi yang abnormal setelah transfusi masif atau operasi pintas jantung paru atau pada pasien dengan penyakit hati.
- 4) Penurunan faktor pembekuan setelah menjalani transfusi dalam volume besar

f. *Cryoprecipitate*



Sumber: Maharani, 2018

Gambar 2.6. *Cryoprecipitate*

Cryoprecipitate berisi faktor pembekuan VIII, faktor pembekuan XIII, faktor *von Willebrand* dan fibrinogen. Suhu penyimpanan *cryoprecipitate* adalah -18°C atau lebih rendah dan dapat disimpan dalam waktu setahun. *Cryoprecipitate* dapat menaikkan faktor pembekuan VIII, faktor pembekuan XIII, faktor *von Willebrand* (vWF) dan fibrinogen. Pemberian kriopresipitat dapat dilakukan dalam 6 jam setelah dicairkan. Sesudah transfusi *cryoprecipitate* efek yang dapat muncul yaitu alergi dan demam. *Cryoprecipitate* diproses dari FFP yang menjadi bagian dari plasma yang dingin dan tidak dapat larut. Kriopresipitat merupakan residu gelatinosa yang didapatkan melalui proses pembekuan dan mencairkan plasma yang telah diambil secara lambat. Dalam kriopresipitat terkandung 80-100 IU faktor VII, vWF dan sekitar 250 mg fibrinogen (minimum 150 mg) dalam volume 10-15mL/unit (Maharani dan Noviar, 2018).

Indikasi:

- 1) Profilaksis pada pasien dengan defisiensi fibrinogen yang akan menjalani prosedur invasif dan terapi pada pasien yang mengalami perdarahan.
- 2) Pasien dengan Hemofilia A dan penyakit *von Willebrand* yang mengalami perdarahan atau yang tidak responsif terhadap pemberian desmopresin asetat atau akan menjalani operasi.
- 3) Defisiensi faktor XIII.

5. Penyimpanan Darah

Penyimpanan dan transportasi yang sesuai standar merupakan aspek penting dalam menjaga kualitas produk darah dan komponennya (Sarwoko, 2022). Penyimpanan darah bertujuan untuk menghindari adanya pembekuan darah, mempertahankan fungsi sel darah sebelum dilakukan transfusi agar tetap berfungsi setelah transfusi serta aman dan tidak menyebabkan penyakit untuk pasien donor. Simpan cair merupakan jenis penyimpanan darah yang sering dilakukan, antikoagulan yang digunakan untuk penyimpanan darah mengandung nutrisi yang berguna untuk kehidupan sel darah pada suhu 4°C (Sitanggang, 2018).

Berdasarkan masa simpan, WB terbagi menjadi dua macam, yaitu *fresh whole blood* (FWB) dan *stored whole blood* (SWB). *Fresh whole blood* adalah darah yang disimpan dalam waktu kurang dari 6 jam, dan masih mengandung trombosit serta faktor pembekuan labil. Setelah itu darah akan menjadi *stored whole blood*, yaitu darah yang disimpan dalam waktu lebih dari 6 jam (Viveronika, 2018). *Fresh whole blood* tidak direkomendasikan karena tidak melalui uji saring infeksi menular lewat transfusi darah. Efek hemostatik yang diberikan SWB serupa dengan FWB, hal ini dibuktikan oleh beberapa penelitian sebelumnya. Dengan demikian, SWB lebih sering digunakan untuk transfusi saat ini. SWB dapat disimpan dalam antikoagulan *Sitrat Fosfat Dekstrosa/CPD* selama 21 hari pada suhu 2-6°C, dan dalam *Sitrat Fosfat Dekstrosa Adenin/CPDA* selama 35 hari pada suhu 2-6°C (Sarwoko, 2022).

Saat proses penyimpanan, suhu merupakan faktor penting untuk mempertahankan kemampuan darah dalam mengangkut oksigen. Suhu 6°C berguna untuk meminimalisir adanya pertumbuhan atau kontaminasi bakteri pada WB, dan eritrosit dapat lisis apabila suhu penyimpanan kurang dari 2°C (Suminingsih, 2017).

Hemolisis adalah rusaknya atau terganggunya integritas membran eritrosit yang dapat menyebabkan lepasnya hemoglobin. Saat lisisnya eritrosit,

hemoglobin akan keluar menuju plasma, dan dapat diamati dengan adanya warna merah pada supernatant. Hemolisis dapat meningkat dengan adanya durasi penyimpanan, suhu dan variasi individu (Suminingsih, 2017).

6. QC *Whole Blood*

Spesifikasi produk darah merupakan persyaratan minimum untuk setiap produk darah, dan pengolahannya harus dapat menghasilkan produk darah yang memenuhi persyaratan tersebut. Kemampuan ini harus ditunjukkan dengan validasi proses dan dikonfirmasi dengan pemeriksaan kendali mutu dari pengambilan sampel produk darah secara berkala. Penerapan program jaminan mutu untuk *whole blood* yaitu:

Tabel 2.1 QC *Whole Blood*

Parameter yang harus diperiksa	Dilakukan pada	Spesifikasi	Sampling	% QC yang dapat diterima
ABO, Rhesus	Semua	Penentuan golongan darah terkonfirmasi	Semua kantong	100%
Anti-HIV 1 dan 2	Semua	Negatif dengan pemeriksaan yang disetujui	Semua kantong	100%
Anti-HCV	Semua	Negatif dengan pemeriksaan yang disetujui	Semua kantong	100%
HBsAg	Semua	Negatif dengan pemeriksaan yang disetujui	Semua kantong	100%
Sifilis	Semua	Negatif dengan pemeriksaan yang disetujui	Semua kantong	100%
Volume (belum termasuk volume antikoagulan)	Kantong 350 mL	350 mL \pm 10%	1% dari total kantong minimal 4 per bulan	75%
Hemoglobin	WB WB-LD	minimal 45 g/kantong minimal 43 g/kantong	4 kantong per bulan	75%
Hemolisis pada akhir masa simpan	Semua	<0,8% dari jumlah total sel darah merah	4 kantong per bulan	75%

Jumlah leukosit	WB-LD	<1 x 10 ⁶ per kantong LD	1% all kantong minimal 10 per bulan	90%
Kontaminasi bakteri	Semua	tidak ada pertumbuhan	1% semua kantong	merujuk pada grafik statistik pertumbuhan bakteri

Sumber: Permenkes No. 91 Tahun 2015

7. Hemoglobin

Hemoglobin adalah molekul yang tersusun dari heme (zat besi) dan globin (alfa, beta, gamma, dan delta). Heme merupakan gugus prostetik yang terbuat dari atom besi, sedangkan globin merupakan protein yang terurai menjadi asam amino. Ditemukan dalam eritrosit, hemoglobin adalah pigmen yang memberi warna merah dan membawa oksigen dari paru-paru ke sel-sel di seluruh tubuh. Normalnya dalam 100 mL darah mengandung sekitar 15 gram dan sekitar 5 juta sel eritrosit. (Hasanan, 2018)

Menurut Sherwood (2012) Hb memiliki fungsi diantaranya:

- a. Mengatur pertukaran antara O₂ dengan CO₂ di jaringan tubuh.

Hemoglobin merupakan molekul yang terdiri dari 4 sub unit polipeptida yang mengangkut O₂ dan CO₂. Hemoglobin memiliki afinitas untuk meningkatkan O₂ saat setiap molekul berikatan, hal ini mengakibatkan kurva disosiasi membelok yang bisa membuat Hb jenuh dengan O₂ dalam paru dan secara efektif melepaskan O₂ ke dalam jaringan.

- b. Mengambil O₂ dari paru-paru lalu diedarkan ke seluruh jaringan tubuh sebagai bahan bakar.

Hemoglobin mengandung banyak zat besi, karena adanya afinitas untuk O₂, hemoglobin dapat membentuk oksihemoglobin (HbO₂). Maka dari itu, O₂ dapat ditransportasikan ke jaringan dari paru-paru.

- c. Membawa CO₂ dari jaringan tubuh sebagai hasil metabolisme menuju ke paru-paru untuk dibuang.

Hemoglobin memiliki peran penting untuk mempertahankan bentuk eritrosit yang bikonkaf. Jika bentuk sel darah ini terganggu, eritrosit menjadi kurang elastis saat bergerak melalui kapiler (Maretdiyani, 2013 dalam Andriyani 2020). Kadar hemoglobin merupakan ukuran pigmen pernapasan dalam eritrosit. Nilai normal hemoglobin dalam 100 mL darah yaitu 15 gr/dL. Nilai normal Hb telah ditetapkan sesuai jenis kelamin dan usia oleh WHO. (Hasanan, 2018)

Tabel 2.2 Kadar Hemoglobin

No.	Kadar Hemoglobin	Kategori
1.	16-23 g/dl	Bayi baru lahir
2.	10-14 g/dl	Anak-anak
3.	13-17 g/dl	Laki-laki dewasa
4.	12-16 g/dl	Wanita dewasa

Sumber: (Estridge dan Reynolds, *Basic Medical Laboratory Techniques*, 2012)

Apabila kadar hemoglobin menurun, dapat terjadi anemia. Anemia merupakan kondisi yang ditandai dengan pucat, kelelahan, pusing, dan sesak napas, hal tersebut disebabkan menurunnya kadar Hb dalam darah. Kemudian tubuh akan kekurangan kadar oksigen, karena terjadinya penurunan kapasitas pembawa oksigen darah (Pearce, 2009).

Selama penyimpanan, viabilitas sel darah merah akan terus menurun akibat berkurangnya kadar ATP. Ketika kadar ATP mengalami penurunan, lipid membran akan hilang, yang dapat menyebabkan membran menjadi kaku dan berubah bentuk dari cakram bikonkaf menjadi bentuk bulat. Hal itu dapat menyebabkan molekul dalam cairan intraseluler keluar menuju cairan ekstraseluler. Molekul intraseluler dalam eritrosit didominasi oleh hemoglobin. Penurunan kadar Hb dalam eritrosit merupakan bukti adanya difusi hemoglobin yang keluar menuju plasma (Wismaya, 2019).

Lepasnya kesatuan eritrosit itu dapat menyebabkan hemolisis dan komplikasi transfusi yang disebabkan oleh pembentukan mikropartikel.

Hemoglobin bebas menyebabkan meningkatnya penggunaan Nitric Oxide (NO) yang merupakan molekul yang memiliki peran dalam sirkulasi darah dan memicu inflamasi (Wismaya, 2019).

Terlarutnya NO dengan Hb ketika hemolisis menyebabkan terjadinya penurunan NO. Reaksi Hb plasma dengan NO akan lebih cepat, dibandingkan ketika Hb masih berada di eritrosit. Penurunan NO memiliki peran dalam keadaan patologis yang berhubungan dengan transfusi darah simpan, yaitu berkurangnya pengikatan oksigen yang dilakukan oleh Hb. (Wismaya, 2019). Kenaikan Hb plasma adalah salah satu parameter yang dapat menentukan indeks hemolisis eritrosit pada produk darah saat proses penyimpanan. Pengecekan Hb plasma bermanfaat untuk memantau eritrosit WB selama penyimpanan, lalu kadar 2,3 DPG bisa menilai daya ikat Hb terhadap oksigen. Menurunnya transportasi oksigen ke jaringan disebabkan oleh rendahnya kadar 2,3 DPG (Sawant et al., 2010; Steiner et al., 2015 dalam Sesmita, 2017).

8. Efek Penyimpanan Darah

1) Perubahan bentuk dan daya hidup sel

- Saat proses pengambilan eritrosit hancur 1-5%, setelah penyimpanan selama 14 hari dalam ACD sel darah merah musnah sekitar 10%, dan sekitar 25% sel darah merah akan musnah dalam waktu 28 hari selama penyimpanan dalam ACD. Maka dari itu, lamanya masa simpan sebanding dengan menurunnya daya hidup eritrosit.
- Suhu dan lamanya masa simpan sebanding dengan menurunnya daya hidup trombosit. Trombosit yang disimpan pada temperatur 18-22°C akan lebih baik dibanding dengan penyimpanan pada temperatur 18-22°C.
- Lamanya masa simpan sebanding dengan menurunnya daya hidup leukosit. Dalam penyimpanan selama 48 jam leukosit akan mengalami perubahan bentuk, dan leukosit akan kehilangan fungsinya dalam waktu 72 jam.

2) Perubahan kadar ATP

Menurunnya kadar ATP, maka eritrosit akan kehilangan lipid membran sel, mengalami perubahan bentuk dari cakram bikonkaf menjadi bulat, serta menurunnya elastisitas sel yang membuat sel menjadi kaku.

3) Perubahan kadar 2,3 DPG

Afinitas oksigen pada Hb menjadi kuat karena penurunan kadar 2,3 DPG, hal ini menyebabkan berkurangnya pelepasan oksigen ke jaringan. Darah yang memiliki kadar 2,3 DPG rendah tidak dapat menaikkan oksigenisasi jaringan meskipun kadar Hb di dalamnya tinggi, maka tidak cocok untuk diberikan kepada pasien yang membutuhkan oksigenisasi cepat/resusitasi.

4) Perubahan elektrolit

Tingginya kalium (K^+) dalam plasma terjadi karena masuknya natrium dan air ke dalam sel sehingga sel tidak mampu mempertahankan kalium. Kadar kalium yang tinggi dalam darah tidak cocok untuk pasien yang memiliki penyakit ginjal.

5) Perubahan asam laktat dan pH

Menumpuknya asam laktat dari hasil akhir proses glikolitik yang dilakukan oleh sel darah merah dapat menurunkan pH menjadi asam.

6) Perubahan amonia

Penghancuran protein dapat menyebabkan peningkatan. Darah yang mengandung amoniak plasma tinggi tidak cocok untuk pasien yang memiliki penyakit hati.

7) Peningkatan Hb plasma

Lisisnya eritrosit selama penyimpanan akan meningkatkan kadar Hb dalam plasma.

8) Perubahan faktor pembekuan

Faktor pembekuan FI sampai dengan FXIII, FV dan FVIII merupakan faktor pembekuan labil secara invitro. Dalam keadaan invitro faktor tersebut dapat bertahan selama 4 sampai 6 jam, sehingga darah yang sudah melalui proses

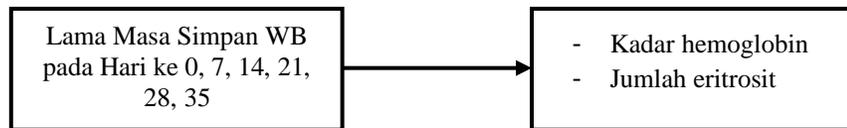
penyimpanan tidak mengandung FV dan FVIII (*labile factor*).

9) Perubahan metabolisme sel

Penurunan pH dapat mengganggu fungsi enzim untuk proses metabolisme sel yang akan menyebabkan sel menjadi lisis.

(Maharani dan Noviar, 2018)

B. Kerangka Konsep



C. Hipotesis

H_0 : tidak ada pengaruh lama masa simpan terhadap perubahan kadar hemoglobin dan eritrosit pada *whole blood*

H_a : ada pengaruh lama masa simpan terhadap perubahan kadar hemoglobin dan eritrosit pada *whole blood*