

BAB II

TINJAUAN TEORI

2.1 Golongan Darah

Golongan darah merupakan pengelompokan darah berdasarkan keberadaan antigennya. Antigen adalah tanda pengenal atau identitas suatu sel yang membedakan antara sel satu dengan lainnya. Antigen umumnya berupa protein, dan dapat juga berupa lipid, karbohidrat, atau konjugatnya (Bidayah dkk., 2025). Antigen berikatan spesifik dengan antibodi sehingga menyebabkan aglutinasi (Nuraini dkk., 2022). Aglutinasi digunakan sebagai prinsip dasar dalam pemeriksaan golongan darah. Adapun sistem penggolongan darah yang terdiri atas:

2.1.1 Sistem Golongan Darah ABO

Golongan darah ABO pertama kali ditemukan oleh Karl Landsteiner pada tahun 1900 (Sahli dkk., 2025). Golongan darah ABO ditentukan dengan melihat apakah ada antigen A atau B di permukaan sel darah merah, serta apakah antibodi anti-A dan anti-B dalam serum atau plasma. Antigen A memiliki enzim glikosil transferase yang mengandung glutiasetil glukosamin pada rangka glikoproteinnya, sedangkan antigen B memiliki enzim galaktose pada rangka glikoproteinnya (Firdayanti dkk., 2024). Sistem golongan darah ABO terbagi menjadi 4 golongan darah. Golongan darah A memiliki antigen A dan antibodi anti-B, golongan darah B memiliki antigen B dan antibodi anti-A, golongan darah O tidak memiliki antigen A maupun antigen B tetapi memiliki antibodi anti-A dan anti-B, golongan darah AB memiliki antigen A dan antigen B tetapi tidak memiliki antibodi anti-A maupun anti-

B (Ananda dkk., 2024). Antigen H merupakan prekursor dari antigen golongan darah ABO yang berfungsi untuk menghasilkan antigen A maupun antigen B (Aliviameita & Puspitasari, 2020). Antigen H dimiliki oleh individu dengan golongan darah A, B, AB, maupun O. Adapun suatu kondisi tidak adanya antigen H yang disebut dengan golongan darah O Bombay.

2.1.2 Sistem Golongan Darah Rhesus

Sistem golongan darah Rhesus adalah cara mengelompokkan golongan darah berdasarkan ada tidaknya antigen D di permukaan sel darah merah (Saputro & Lestari, 2023). Sistem golongan darah ini ditemukan pada tahun 1940 oleh Karl Landsteiner dan Weinbrener (Hikma dkk., 2021). Jika seseorang memiliki rhesus positif (Rh+) berarti terdapat antigen D di permukaan sel darahnya, sedangkan Rhesus negatif (Rh-) tidak terdapat antigen D di permukaan sel darahnya. Rhesus positif umumnya dimiliki oleh orang Asia, seperti warga Indonesia. Rhesus negatif ditemukan pada sekitar 15% pada ras kulit putih dan bisa dimiliki oleh orang Asia yang berasal dari hasil pernikahan antara orang Asia dengan orang ras kulit putih yang memiliki Rhesus negatif (Andriani dkk., 2023). Suatu kondisi dimana seorang ibu Rhesus negatif mengandung anak yang memiliki Rhesus positif dapat menyebabkan *Haemolytic Disease of the Fetus and Newborn* (HDFN). Antigen D pada bayi akan memicu reaksi imun dari ibu dengan Rhesus negatif, karena ibu memiliki antibodi anti-D (Kwarta dkk., 2025). Perbedaan antara sistem golongan darah ABO dan Rhesus adalah pada sistem ABO, antigen menjadi penyebab terjadinya reaksi transfusi secara spontan, sedangkan pada Rhesus reaksi antigen spontan jarang terjadi (Firdayanti dkk., 2024).

2.1.3 Sistem Golongan Darah Lain

Sistem golongan darah selain ABO dan Rhesus, berdasarkan sifatnya digolongkan menjadi *warm antibody* dan *cold antibody*. Sistem golongan darah yang memiliki sifat *cold antibody* terdiri atas sistem golongan darah Lewis, sistem golongan darah I, sistem golongan darah P, dan sistem golongan darah MNS. Sistem golongan darah yang memiliki sifat *warm antibody* adalah sistem golongan darah Kell, sistem golongan darah Duffy, dan sistem golongan darah Kidd.

1. Sistem golongan darah Lewis

Sistem golongan darah Lewis memiliki antigen yang bukan merupakan bagian integral dari membran eritrosit. Antigen ini berada di plasma dan kemudian diadsorpsi ke permukaan sel darah merah. Antigen utama dari sistem golongan darah Lewis adalah Le^a dan Le^b . Keberadaan antigen Lewis dipengaruhi oleh interaksi 3 set gen yaitu gen H, gen Secretor (Se), dan gen Lewis (Le). Antigen ini akan berkembang mulai dari satu minggu setelah bayi lahir hingga berusia 6 tahun. Perkembangannya dimulai dari Lewis (a-b-) $\rightarrow$ Lewis (a+b-) $\rightarrow$ Lewis (a+b+) $\rightarrow$ Lewis (a-b+) (Alivameita & Puspitasari, 2020). Antibodi Lewis tidak menyebabkan HDFN karena saat bayi baru lahir tidak mengekspresikan antigen Le^a maupun Le^b . Anti- Le^a dan anti- Le^b kebanyakan merupakan antibodi IgM yang terbentuk secara alami. Antibodi ini biasanya dikembangkan oleh individu dengan tipe Le (a-b-). Suhu optimal reaksi antibodi ini yaitu pada suhu di bawah 37°C . Antibodi Lewis pada umumnya tidak menyebabkan reaksi transfusi.

Golongan darah Lewis pertama kali ditemukan pada tahun 1946 oleh Arthur Mourant (Smart dkk., 2020).

2. Sistem Golongan Darah I

Antigen I diekspresikan pada sel darah merah dewasa normal. Ekspresi antigen I sangat bervariasi pada setiap orang dan akan berubah seiring bertambahnya usia dan penyakit. Ekspresi antigen I tergantung pada kondisi setiap individu yang dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti usia dan adanya penyakit. Ag i terdapat pada sel darah bayi yang baru lahir, ketika bayi sudah berusia 18 bulan antigen i akan digantikan menjadi antigen I. Sistem golongan darah I merupakan antibodi Ig M yang termasuk *cold antibody*. Pada umumnya hanya terdeteksi pada suhu rendah dan pada beberapa penyakit hematologi. Antibodi ini jarang ditemukan sebagai aloantibodi. Anti-I dapat berasosiasi dengan anti-H, membentuk antibodi dengan spesifisitas anti-HI (Smart dkk., 2020).

3. Sistem Golongan Darah P

Golongan darah P pertama kali diperkenalkan pada tahun 1927 oleh Landsteiner dan Levine. Antigen dalam sistem golongan darah ini adalah P1 dan P2. P1 memiliki antigen P, sedangkan P2 tidak memiliki antigen P namun memiliki anti-P yang dapat bereaksi pada suhu 20°C atau lebih tinggi. Biasanya anti-P sangat lemah. Antibodi sistem golongan darah ini tidak signifikan secara klinis, akan tetapi dapat menyebabkan reaksi transfusi hemolitik pada kasus tertentu. P1 dapat

dijumpai pada trombosit, limfosit, dan fibroblas (Thulasiram dkk., 2023).

4. Sistem Golongan Darah MNS

Sistem golongan darah MNS terdapat lebih dari 40 antigen, akan tetapi yang paling umum adalah M, N, S, dan s. Antigen M dan N pertama kali ditemukan pada tahun 1927 oleh Karl Landsteiner dan Philip Levine (Smart dkk., 2020). Anti-M dan anti-N merupakan antibodi Ig M yang bereaksi pada suhu dingin. Antibodi ini dapat terbentuk sebagai akibat dari stimulasi oleh paparan (exposure) maupun secara non-stimulasi eritrosit. Anti-M pada umumnya tidak signifikan secara klinis dan jarang terlibat dalam HDFN. Anti-N memiliki karakteristik yang hampir sama dengan anti-M, tetapi lebih jarang ditemukan. Anti-S dan anti-s merupakan antibodi Ig G yang signifikan secara klinis dan dapat menyebabkan HDFN yang mengakibatkan penurunan kelangsungan hidup eritrosit (Aliviameita & Puspitasari, 2020).

5. Sistem Golongan Darah Kell

Sistem golongan darah Kell ditemukan pada tahun 1946. Saat ini antigen sistem golongan darah Kell diketahui berjumlah 25, akan tetapi yang paling penting secara klinis adalah antigen K dan k. Antigen pada sistem golongan darah Kell merupakan yang terkuat setelah ABO dan Rhesus dalam menyebabkan reaksi imun pada tubuh seseorang (Aliviameita & Puspitasari, 2020). Anti-K dan anti-k umumnya

merupakan antibodi Ig G. Antibodi dalam golongan darah ini umumnya bereaksi optimal pada suhu 37°C, akan tetapi beberapa anti-K dapat bereaksi pada suhu dibawah 37°C. Anti-K dan anti-k signifikan secara klinis dan dapat menyebabkan reaksi transfusi hemolitik akut yang parah serta reaksi transfusi tertunda. Antibodi signifikansi klinis pada HDFN. Antibodi Anti-K berbeda dari antibodi sistem golongan darah lain yang menyebabkan HDFN karena antibodi ini menghancurkan sel progenitor eritroid awal dan menekan eritropoiesis, menyebabkan anemia berat, dan terkadang kematian janin (Smart dkk., 2020).

6. Sistem Golongan Darah Duffy

Golongan darah Duffy ditemukan oleh Marie Cutbush dan Patrick Mollison pada tahun 1950. Hal ini menunjukkan adanya respons adaptif terhadap penyakit atau tekanan selektif akibat parasit. Anti-Fy^a dan anti-Fy^b merupakan antibodi Ig G yang dapat terbentuk akibat transfusi dan kehamilan, keduanya dapat menyebabkan HDFN. Anti-Fy^a sering terdeteksi bersama dengan antibodi sel darah merah lainnya, khususnya antibodi Rh (Smart dkk., 2020). Antigen golongan darah ini adalah Fy^a dan Fy^b. Antigen ini diwariskan sesuai dengan Hukum Mendel dengan fenotip yang terdiri atas Fy(a+b-), Fy(a-b+), Fy (a+b+), dan Fy(a-b-). Sel darah merah yang tidak memiliki antigen Duffy, yaitu Fy(a-b-) bersifat refrakter terhadap invasi parasit malaria, contohnya seperti *Plasmodium vivax* (Aliviameita & Puspitasari, 2020).

7. Sistem Golongan Darah Kidd

Sistem golongan darah Kidd awalnya ditemukan oleh Fred Allen, Louis Diamond dan Beverly Niedziela pada tahun 1951. Antigen dalam golongan darah ini adalah Jk^a dan Jk^b . Anti- Jk^a dan anti- Jk^b dapat mengaktifkan komplemen dan terbentuk akibat transfusi maupun kehamilan. Antibodi ini relatif jarang ditemukan dan paling sering terdapat dalam serum/plasma yang mengandung antibodi golongan darah lain. Baik anti- Jk^a ataupun anti- Jk^b dapat menyebabkan reaksi transfusi akut dan reaksi transfusi tertunda. Antibodi ini jarang menyebabkan HDFN (Smart dkk., 2020). Antibodi golongan darah ini menghasilkan reaksi yang lemah karena merupakan antibodi Ig G dengan kadar yang rendah dalam darah (Aliviameita & Puspitasari, 2020).

2.2 Pemeriksaan Golongan Darah Metode Tabung

Pemeriksaan golongan darah metode tabung adalah metode pemeriksaan golongan darah yang menggunakan tabung reaksi sebagai wadah untuk mencampur sampel darah dengan reagen tertentu yang bertujuan untuk mengetahui antigen atau antibodi yang terkandung dalam darah. Prinsip pemeriksaan golongan darah metode tabung didasarkan pada reaksi aglutinasi antara antigen dan antibodi. Reaksi antigen dan antibodi akan menghasilkan aglutinasi dengan tingkatan yang berbeda. Pemeriksaan metode tabung mampu membaca reaksi aglutinasi yang lemah. Dalam pemeriksaan golongan darah metode tabung dilakukan *cell grouping*, *serum typing*, dan autokontrol. *Cell grouping* dilakukan untuk mendeteksi antigen di

permukaan sel darah merah, *serum grouping* dilakukan untuk mendeteksi antibodi pada plasma, sedangkan autokontrol dilakukan untuk mendeteksi adanya reaksi autoantibodi pada darah donor atau pasien (Nurhidayanti, 2024). Adapun prosedur pemeriksaan golongan darah metode tabung dalam (Permenkes, 2015) yaitu:

2.2.1 Alat dan Bahan Pemeriksaan Golongan Darah Metode Tabung

1. Alat
 - a. Tabung reaksi
 - b. Rak tabung reaksi
 - c. Hematokrit Centrifuge
 - d. Pipet plastik
 - e. Spidol
2. Bahan
 - a. Sampel darah
 - b. Reagen anti-A, anti-B, anti D, dan bovine albumin 6%
 - c. Air dan saline 0,9%
 - d. Saline dalam labu semprot
 - e. Parafilm
 - f. *Test cell* A, B, dan O

2.2.2 Prosedur Pemeriksaan Golongan Darah Metode Tabung

1. Persiapan Kerja
 - a. Letakkan reagen pada suhu kamar sebelum digunakan pada pemeriksaan golongan darah dan simpan kembali pada suhu 2° - 8°C setelah digunakan.

- b. Siapkan sampel darah dengan antikoagulan yang akan diperiksa
- c. Pisahkan plasma dari sdm, lakukan pencucian, hingga pembuatan suspensi sel 5%.
- d. Siapkan checklist dan lembar kerja pemeriksaan golongan darah ABO dan rhesus
- e. Catat tanggal penerimaan sampel, identitas sampel, tanggal pemeriksaan dan tanggal pemeriksaan dilakukan.
- f. Pencatatan dan dokumentasi harus dilakukan pada:
 - Checklist
 - Lembar kerja hasil pemeriksaan

2. Pembuatan Suspensi 5%

- a. Ambil 8 tetes sdm pekat, masukkan ke dalam tabung reaksi
- b. Tambahkan saline sebanyak 3/4 tabung reaksi
- c. Tutup tabung dengan parafilm, kocok dengan perlahan agar larutan menjadi homogen
- d. Sentrifugasi tabung dengan kecepatan 3000 rpm selama 2 menit.
- e. Bukalah parafilm dan buang supernatan dengan menggunakan pipet (pencucian ke 1)
- f. Ulangi langkah ke-2 hingga ke-5 sesuai dengan kebutuhan
- g. Untuk suspensi 5% ke dalam tabung reaksi yang sudah diberi identitas, masukkan 1 bagian sdm pekat kemudian ditambah dengan 19 bagian saline

3. Pemisahan Plasma dari Sel Darah Merah

- a. Siapkan sampel darah dengan antikoagulan CPDA dalam tabung
- b. Sentrifugasi darah dalam tabung dengan kecepatan 3.000 rpm selama 2 menit
- c. Siapkan 1 tabung yang bersih untuk menampung plasma
- d. Pisahkan plasma sebanyak-banyaknya dari sdm pekat dan masukkan ke dalam tabung yang sudah disiapkan
- e. Beri identitas pada masing-masing tabung; sdm pekat dan plasma

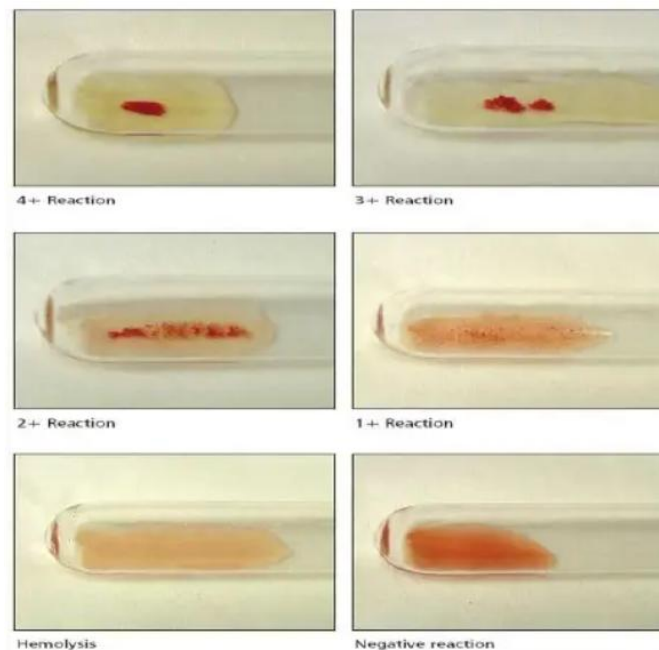
4. Prosedur Pemeriksaan

- a. Siapkan tabung reaksi yang bersih dan kering, beri identitas pada bagian atas tiap-tiap tabung berturut-turut: Anti-A, Anti-B, Sel-A, Sel-B, Sel-O, Anti-D, AK, BA 6%
- b. Isi masing-masing tabung dengan:
 - Tabung 1: 2 tetes anti-A
 - Tabung 2: 2 tetes anti-B
 - Tabung 3: 1 tetes sel uji A 5%
 - Tabung 4: 1 tetes sel uji B 5%
 - Tabung 5: 1 tetes sel uji O 5%
 - Tabung 6: lihat poin c dan d
 - Tabung 7: 2 tetes Anti-D
 - Tabung 8: 2 tetes bovine albumin 6%
- c. Teteskan masing-masing 1 tetes sdm spesimen (pasien/donor) suspensi 5% pada tabung 1, 2, 6, 7, 8

- d. Teteskan masing-masing 2 tetes plasma spesimen (pasien/donor) suspensi 5% pada tabung: 3, 4, 5, 6
- e. Campurkan isi tiap tabung dengan cara menggosok tabung hingga homogen
- f. Lakukan sentrifugasi dengan kecepatan 3000 rpm selama 15 detik
- g. Baca hasil dan catat pada lembar kerja.

2.2.3 Derajat Aglutinasi Pemeriksaan Golongan Darah Metode Tabung

- 1. 4+ : sdm menggumpal/beraglutinasi 100%, dengan cairan supernatan terlihat jernih
- 2. 3+ : gumpalan besar terjadi terpisah-pisah, dengan cairan supernatan terlinat masih jernih
- 3. 2+ : gumpalan agak kecil dan banyak terpisah, dengan cairan supernatan agak merah
- 4. 1+ : gumpalan kecil seperti pasir halus masih terlihat jelas, dengan cairan supernatan berwarna merah
- 5. Negatif : tidak terjadi reaksi agglutinasi, sdm tersuspensi kembali.
- 6. Hemolisis: hemolisis parsial atau komplit, supernatan kemerahan



Gambar 2.1 Derajat aglutinasi pemeriksaan golongan darah metode tabung, sumber: (NIB, 2013)

2.3 Mekanisme Aglutinasi

Aglutinasi adalah penggumpalan yang terjadi akibat adanya reaksi antara antigen (aglutinogen) pada permukaan eritrosit dengan antibodi (aglutinin) yang terdapat pada plasma (Azzahra, 2025). Reaksi ini akan terjadi lebih besar, jelas, dan juga kuat saat kadar antigen dan antibodi tinggi (Khoonijah dan Qomariyah dalam Purnamasari dkk., 2024). Menurut Blaney dan Howard dalam Oktari & Mulyati (2022), aglutinasi berlangsung melalui dua tahapan. Tahapan yang pertama antibodi akan berikatan dengan sel darah merah yang berada di permukaan sel darah merah, kemudian pada tahap kedua antibodi akan berinteraksi dengan eritrosit sehingga sel-sel saling berdekatan dan terjadi aglutinasi. Pada tahap pertama, aglutinasi dipengaruhi oleh konstanta afinitas antibodi, pH media, waktu dan lama inkubasi, kekuatan ion pada medium, suhu, rasio antigen dan antibodi. Faktor yang

memengaruhi aglutinasi pada tahapan kedua yaitu deformitas membran, muatan molekul dalam suspensi, jarak antar sel, permukaan membran dan struktur molekul.

Pada pemeriksaan golongan darah metode tabung tingkat aglutinasi yang dihasilkan lebih kecil karena antigen yang terdapat pada eritrosit suspensi sel 5% lebih sedikit. Reaksi aglutinasi pada *cell grouping* dipengaruhi oleh kemampuan antisera (antibodi) bereaksi dengan sel darah merah (antigen), sedangkan pada *serum grouping* dipengaruhi oleh kemampuan *test cell* (antigen) bereaksi dengan serum/plasma (antibodi). Menurut Aliviameita & Puspitasari, (2020) faktor penting yang memengaruhi reaksi antara antigen dan antibodi adalah kecocokan tempat pengikatan antibodi (*binding site*) dan antigen yang saling melengkapi muatan, konsentrasi antigen dan antibodi, pH medium suspensi, kekuatan ionik, dan suhu. Meningkatkan rasio serum/plasma pada pemeriksaan golongan darah akan menghasilkan sensitivitas yang tinggi karena semakin besar jumlah antibodi yang terikat pada setiap eritrosit, sehingga reaksi yang dihasilkan pun semakin kuat. Apabila konsentrasi antigen ditambahkan maka sensitivitas pemeriksaan menjadi lebih rendah karena jumlah antibodi yang terikat pada eritrosit akan lebih sedikit.

Tidak ada metode serologis tunggal yang dapat digunakan untuk mendeteksi semua jenis antibodi golongan darah karena metode tunggal tidak dapat menunjukkan reaktivitas. Antibodi spesifik memiliki karakteristik beragam sehingga tidak dapat terdeteksi pada metode, suhu, dan pH tertentu. Aglutinasi diamati secara *in vitro* karena yang diamati reaksi antara antigen antibodi dan semua variabel yang memengaruhi karakter dan jumlah reaktivitas yang dapat diamati (Aliviameita & Puspitasari, 2020).

2.4 Diskrepansi Golongan Darah

Menurut Sahu dkk. (2022), diskrepansi terjadi akibat ketidaksesuaian hasil antara pemeriksaan *cell grouping* dan *serum grouping*. Apabila ditemukan ketidaksesuaian dalam penentuan golongan darah ABO, pemeriksaan ulang dilakukan untuk mengidentifikasi penyebabnya. Ketika penyebab diskrepansi telah ditemukan, kemudian dianalisis dan diselesaikan dengan menggunakan reagen tambahan seperti anti-A1, anti-H, dan anti-AB, serta pemeriksaan imunologi lainnya, seperti skrining dan identifikasi antibodi, uji inhibisi saliva, dan metode adsorpsi-elusi.

Indriputri & Maulana (2023) menyatakan bahwa diskrepansi disebabkan oleh dua faktor, yaitu faktor klinis atau yang disebabkan oleh kelainan biologis dalam sampel dan faktor teknis. Diskrepansi paling sering terjadi dikarenakan faktor klinis atau yang disebabkan oleh kelainan biologis sampel. Diskrepansi diklasifikasikan menjadi empat tipe, yaitu tipe I yang disebabkan oleh antibodi lemah atau hilang, tipe II yang disebabkan oleh antigen lemah atau hilang, tipe III yang disebabkan oleh kelainan protein atau plasma yang mengakibatkan terbentuknya formasi *rouleaux*, dan tipe IV yang disebabkan oleh antibodi ireguler akibat paparan antigen asing maupun autoantibodi. Sedangkan faktor teknis yang dapat menyebabkan terjadinya diskrepansi meliputi kesalahan identifikasi dan dokumentasi, kesalahan kontrol kualitas, serta penyimpangan dari Standar Prosedur Operasional (SOP).

2.5 Prosedur Penyimpanan Darah Donor

Penyimpanan darah donor harus dapat mempertahankan sel darah merah tetap hidup dan dapat mempertahankan sel darah merah tetap berfungsi. Hal yang harus

diperhatikan dalam prosedur penyimpanan darah adalah suhu dan pengawet atau pelindung. Suhu penyimpanan setiap komponen darah harus sesuai dengan ketentuan yang berlaku, karena setiap komponen darah memiliki suhu simpan yang berbeda. Setiap kantong darah dilengkapi dengan antikoagulan. Antikoagulan merupakan zat yang berperan mencegah aglutinasi dengan menghambat faktor-faktor yang dapat menyebabkan terjadinya proses pembekuan darah (Rahmatullah, 2021). Antikoagulan yang digunakan pada kantong darah yaitu CPD (*Citrate Phosphate Dextrose*), CPDA-1 (*Citrate Phosphate Dextrose Adenine*), dan SAGM (*Saline Adenine Glucose Mannitol*).

Setiap komponen darah memiliki ketentuan penyimpanan yang berbeda. Adapun prosedur penyimpanan masing-masing komponen darah, yaitu:

2.5.1 Whole Blood (WB)

Whole blood merupakan komponen darah yang mengandung eritrosit, leukosit, trombosit, dan plasma. WB merupakan komponen darah yang ditransfusikan tanpa melewati proses pengolahan. WB juga merupakan bahan baku dari proses pembuatan komponen darah. WB dengan CPDA-1 yang disimpan pada suhu 2-6°C memiliki masa penyimpanan 35 hari (Nelma & Adiratna, 2023). WB yang dilengkapi dengan antikoagulan CPD memiliki masa simpan yang lebih singkat, yaitu 21 hari (Supadmi dkk., 2024). Pada saat transportasi, WB harus disimpan dalam suhu 2-10°C dengan waktu maksimal 24 jam. Volume komponen darah WB 350 mL atau 450 mL (Permenkes, 2015).

2.5.2 *Packed Red Cell (PRC)*

Packed Red Cell merupakan komponen darah yang didapatkan dari pengolahan *Whole Blood* dengan membuang sebagian besar volume plasma. Adapun PRC *Leukodepleted* yang jumlah leukositnya sebagian besar telah dibuang. Volume PRC dari WB 450 mL adalah 280 ± 50 mL, sedangkan PRC dari WB 350 mL memiliki volume 218 ± 39 mL. PRC dan PRC *Leukodepleted* disimpan pada suhu 2-6°C. Pada saat transportasi, suhu penyimpanan 2-10°C dengan waktu maksimal 24 jam (Permenkes, 2015). Menurut WHO dalam (Adawiyah dkk., 2025) masa simpan PRC dengan CPDA-1 memiliki masa simpan selama 35 hari. Masa simpan PRC yang dilengkapi dengan antikoagulan CPD memiliki masa simpan yang lebih singkat, yaitu 21 hari (Nurhamida & Baehaki, 2024). PRC dengan SAGM memiliki masa simpan 42 hari atau 6 minggu (Indah dkk., 2022).

2.5.3 *Thrombocyte Concentrate (TC)*

TC merupakan komponen darah yang didapat dari hasil pengolahan WB dan juga bisa didapat melalui apheresis. TC dapat dibuat dengan *pooling* dari 4-6 kantong dengan golongan darah yang sama ataupun tunggal. Adapun komponen TC *Leukodipleted* dengan jumlah leukosit yang minimal akibat proses filtrasi. TC disimpan dan ditransportasikan pada suhu 20-24°C. Jangka waktu transportasi TC maksimal 24 jam. TC memiliki masa simpan selama 5 hari dan disimpan pada platelet agitator (Permenkes, 2015).

2.5.4 *Fresh Frozen Plasma (FFP)*

FFP merupakan komponen yang didapat melalui pemisahan WB atau platelet rich plasma setelah melalui proses sentrifugasi dengan pemutaran cepat yang

kemudian dibekukan dengan cepat untuk menjaga fungsi dari faktor koagulasi stabil. Adapun komponen FFP *Leukodepleted* yang diperoleh melalui proses filtrasi atau pemisahan WB-LD dan *Cryoprecipitate Depleted* FFP yang didapat dari WB apheresis atau FFP apheresis dengan memisahkan *Cryoprecipitate*. Masa simpan FFP tergantung pada suhu penyimpanannya. FFP yang disimpan dengan suhu (-20°C) – (-24°C), lama masa simpannya 3 bulan. FFP yang disimpan dengan suhu (-25°C) – (-29°C), lama masa simpannya 6 bulan. FFP yang disimpan dengan suhu (-30°C) – (-39°C), lama masa simpannya 1 tahun. FFP yang disimpan dengan suhu (-40°C) – (-64°C), lama masa simpannya 2 tahun. FFP yang disimpan dengan suhu -65°C atau di bawahnya, lama masa simpannya 7 tahun. Transportasi FFP maksimal 24 jam dengan suhu dibawah -25°C. FFP tidak boleh dibekukan kembali setelah melalui proses thawing (Permenkes, 2015).

2.5.5 *Cryoprecipitate*

Cryoprecipitate merupakan komponen darah yang didapat dari FFP yang diproses lebih lanjut dan dikonsentrasikan. Kandungan dalam komponen darah *cryoprecipitate* adalah Faktor VIII, Faktor XIII, Faktor Von Willebrand, Fibrinogen dan Fibronectin dengan kadar yang signifikan. Suhu penyimpanan dan transportasi *cryoprecipitate* dibawah -25°C. Masa simpan *cryoprecipitate* dengan suhu -25°C adalah 36 bulan, sedangkan *cryoprecipitate* yang disimpan pada suhu (-18°C) – (-25°C) masa simpannya 3 bulan. Transportasi *cryoprecipitate* maksimal 24 jam dengan suhu dibawah -25°C (Permenkes, 2015).

2.6 Pengaruh Lama Penyimpanan Terhadap Kualitas Darah Donor

Pada penyimpanan darah donor di bank darah akan menyebabkan terjadinya *storage lesion* yaitu terjadinya perubahan morfologi sel atau sel-sel akan rusak (hemolisis). Terjadinya hemolisis pada sel darah merah merupakan penanda terjadinya kegagalan sistem penyimpanan sel darah merah dan juga adanya kontaminasi bakteri (Amanda dkk., 2024). Antikoagulan yang ditambahkan pada darah donor tidak dapat menghilangkan kemungkinan terjadinya perubahan pada komponen darah. Kadar *Adenosin Tri Phospat* (ATP) yang berperan sebagai sumber energi sel darah merah juga akan menurun seiring bertambahnya lama penyimpanan. Kurangnya sumber energi pada eritrosit akan menyebabkan terjadinya hemolisis. Lisisnya eritrosit akan menyebabkan hemoglobin akan keluar dari sel eritrosit sehingga menjadikan kadar hemoglobin pada komponen darah semakin meningkat (Nurhamida & Baehaki, 2024).

Penurunan ATP juga menyebabkan hilangnya lipid sehingga sel darah merah akan menjadi kaku. Bentuk eritrosit yang awalnya bikonkaf berubah menjadi sferis (tidak central polar dan ukurannya kecil). Hal tersebut akan menyebabkan kandungan kalium dalam sel darah merah keluar dan natrium masuk ke dalam sel. Akibatnya eritrosit akan membengkak dan viskositas darah menjadi tinggi. Apabila kejadian tersebut berlangsung lama, maka akan berpengaruh terhadap nilai hematokrit komponen darah. Lisis pada eritrosit juga disebabkan karena meningkatnya *stress cell induced hemolysis* (Adawiyah dkk., 2025).

Pada hasil penelitian yang dilakukan oleh Amanda dkk. (2024) menunjukkan bahwa terjadi perubahan derajat aglutinasi pemeriksaan golongan darah metode

tabung seiring bertambahnya waktu penyimpanan. Golongan darah dari sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah A. Pada darah EDTA mengalami penurunan derajat aglutinasi pada lama simpan 14 hari dan 21 hari, baik pada pemeriksaan *cell grouping* maupun *serum grouping* dengan derajat aglutinasi 2+ dan 1+. Sedangkan darah ACD pada pemeriksaan *serum grouping* mengalami penurunan derajat aglutinasi pada hari ke 14 dan hari ke 21 dengan derajat aglutinasi 2+ dan 1+, pada pemeriksaan *cell grouping* hasil derajat aglutinasi hingga hari ke-21 masih kuat.