

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Darah & Komponen Darah

1. Definisi & Fungsi darah

Darah adalah cairan biologis yang terdapat pada sebagian besar organisme tingkat tinggi, kecuali tumbuhan, yang berfungsi mengangkut hasil metabolisme, oksigen, dan zat-zat nutrisi ke seluruh jaringan tubuh serta berperan dalam sistem pertahanan terhadap infeksi bakteri maupun virus (Utami, 2021). Sebagai komponen vital, darah menjaga fungsi tubuh melalui distribusi oksigen, pasokan nutrisi, dan perlindungan imun. Kekurangan darah dapat memicu masalah kesehatan serius dan berpotensi mengancam nyawa (Sari, 2019).

Secara umum, darah tersusun atas dua komponen utama, yakni sel darah dan plasma. Sel darah menyumbang sekitar 45% dari volume total dan terdiri atas eritrosit, leukosit, dan trombosit. Sementara itu, plasma menyumbang 55%, yang terdiri dari 92% air dan sekitar 8% komponen terlarut seperti ion dan glukosa. Volume darah dalam tubuh dipengaruhi oleh berat badan individu, dengan rata-rata sekitar 7% dari total massa tubuh atau sekitar 4–5 liter. Selain berfungsi sebagai sarana transportasi oksigen, nutrisi, hormon, dan produk metabolik, darah juga berperan sebagai medium komunikasi antar sel dan komponen penting sistem kekebalan tubuh (Fatimah *et al.*, 2019).

2. Komponen darah

Darah tersusun atas dua komponen utama, yaitu plasma darah dan sel-sel darah

a. Plasma Darah

Plasma darah merupakan komponen terbesar darah dengan proporsi sekitar 55% dari total volumenya, sementara sel-sel darah membentuk sekitar 45%. Komposisi utama plasma terdiri atas air sebesar 91,5%, disertai zat terlarut berupa protein sekitar 7% serta komponen lain sebesar 1,5%. Protein yang mendominasi plasma meliputi albumin, globulin, dan fibrinogen (Setiawan, 2018). Sebagai medium transportasi, plasma berperan mengantarkan nutrisi, termasuk mineral, lemak, glukosa, dan asam amino ke berbagai jaringan tubuh. Selain itu, plasma juga memindahkan limbah metabolik seperti urea, asam urat, dan sebagian karbon dioksida untuk kemudian dieliminasi dari tubuh.

b. Sel Darah

1) Eritrosit (Sel Darah Merah)

Eritrosit merupakan sel darah yang mengandung hemoglobin dan berperan dalam membawa oksigen dari paru-paru ke berbagai jaringan tubuh. Sel ini berbentuk pipih dan bulat dengan bagian tengah yang cekung, serta tidak memiliki inti sel. Selain membawa oksigen, eritrosit juga mengangkut karbon dioksida yang dihasilkan oleh metabolisme menuju paru-paru guna dihembuskan selama pernapasan.

2) Leukosit (Sel Darah Putih)

Leukosit merupakan bagian penting dari sistem imun yang berfungsi mempertahankan tubuh terhadap berbagai agen infeksi. Sel-sel ini diproduksi di jaringan hematopoietik untuk leukosit granular (polimorfonuklear) dan di jaringan limfatik untuk leukosit non-granular (mononuklear). Jumlah leukosit relatif kecil, sekitar 4.000–11.000 sel per mm^3 darah, dan dapat meningkat sesuai tingkat paparan terhadap patogen tanpa mengganggu fungsi fisiologis (Prasthio & Devella, 2022).

3) Trombosit (Keping Darah)

Trombosit memiliki peran utama dalam mekanisme hemostasis, khususnya pada pembentukan bekuan darah dan proses perbaikan jaringan yang mengalami cedera. Sel-sel ini membantu membentuk bekuan darah yang menutupi area yang terluka, sehingga mencegah kehilangan darah yang berlebihan. Dalam kondisi normal, jumlah trombosit berada pada kisaran 150.000–350.000 per mililiter darah (Utami, 2021)

3. Pengolahan Komponen Darah

Komponen darah merupakan fraksi darah yang diperoleh melalui proses pemisahan secara mekanis atau fisik, seperti sentrifugasi atau sedimentasi, tanpa penambahan bahan kimia. Pengolahan komponen darah bertujuan untuk menghasilkan produk darah yang siap digunakan, dengan prosedur yang harus memenuhi standar kualitas dan keamanan (Maharani & Ganjar Noviar, 2018).

B. Packed Red Cells (PRC)

1. Definisi Packed Red Cells

Packed Red Cells (PRC) adalah komponen darah yang diperoleh dari darah utuh melalui sedimentasi atau sentrifugasi. PRC digunakan karena lebih efektif dalam meningkatkan hematokrit dan kapasitas pengangkutan oksigen dibandingkan dengan transfusi darah utuh. PRC dengan antikoagulan *Citrate Phosphate Dextrose-Adenine* (CPD-A) disimpan pada suhu 2–6°C di lemari pendingin bank darah dan memiliki masa simpan hingga 35 hari (Maharani & Ganjar Noviar, 2018)

PRC mengandung sel darah merah yang telah dipisahkan dari sebagian besar komponen lain, menghasilkan hematokrit sekitar 65–70%, setara dengan pengambilan 125–150 ml plasma dari satu unit darah. Satu unit PRC umumnya memiliki volume 179–257 ml, tergantung pada proses pemisahan dan tingkat hemoglobin donor (Permenkes, 2015)

2. Mekanisme Pemisahan PRC

Pemisahan PRC dapat dilakukan menggunakan metode sentrifugasi. Pada tahap awal, komponen pada lapisan atas merupakan campuran antikoagulan dan plasma. Selama proses putaran, leukosit dan eritrosit mengendap terlebih dahulu sebelum trombosit. Kecepatan dan durasi putaran memengaruhi pemisahan, sehingga sebagian leukosit dan sel darah merah akan berada dalam fraksi *Platelet-Rich Plasma* (PRP). Setelah sentrifugasi selesai, eritrosit mengendap di bagian bawah kantong, sementara plasma berada di lapisan atas.



Gambar 1 Packed Red Cells (PRC) (Maharani & Ganjar Noviar, 2018)

3. Indikasi *Packed Red Cells* (PRC)

PRC merupakan salah satu komponen darah yang paling banyak digunakan dalam praktik transfusi. Fungsinya adalah menyalurkan oksigen dari jantung ke seluruh tubuh dan mengembalikan karbon dioksida untuk dikeluarkan melalui sistem pernapasan. PRC diberikan terutama kepada pasien dengan jumlah hemoglobin rendah. Kondisi yang dapat menurunkan Hb dan memerlukan transfusi PRC meliputi anemia aplastik, anemia akibat perdarahan, dan talasemia.

C. *Packed Red Cell Leukodepleted* (PRC-LD)

1. Definisi *Packed Red Cell Leukodepleted*

Packed Red Cell Leukodepleted (PRC-LD) adalah bentuk modifikasi dari PRC yang mengalami proses leukoreduksi. PRC-LD mengandung leukosit residual $< 1 \times 10^6$ per unit (Huisman, 2020). Berbagai metode dapat diterapkan untuk menurunkan jumlah leukosit yang terdapat dalam produk darah, seperti pencucian sel darah merah, sentrifugasi dan pengangkatan lapisan *buffy coat*, degliklerolisis, filtrasi leukosit, dan *leukocytapheresis*. Namun, metode yang saat ini dianggap paling efektif adalah filtrasi leukosit menggunakan filter khusus dan teknik *leukocytapheresis* berbasis mesin

PRC-LD berbasis filtrasi diperoleh dari darah utuh yang kemudian dipisahkan dengan sentrifugasi, dan plasmanya dipindahkan atau difilter dalam waktu maksimal 48 jam setelah pengumpulan. Pengurangan leukosit dilakukan menggunakan filter yang dirancang untuk menyaring sel-sel ini, baik melalui penyaringan pra-penyimpanan maupun penyaringan pasca-penyimpanan (Permenkes, 2015).

2. Teknik Pembuatan PRC-LD

Berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan No. 91 Tahun 2015, terdapat dua teknik utama pembuatan PRC-LD:

a. Teknik filtrasi pre-storage

Darah donor dikumpulkan menggunakan kantong yang sudah terpasang filter leukosit, kemudian dilakukan pemisahan komponen hingga menghasilkan PRC-LD. Teknik ini bertujuan meminimalkan risiko reaksi transfusi dan menjaga kualitas PRC selama penyimpanan, tetapi membutuhkan biaya/kapasitas yang lebih besar

b. Teknik filtrasi post-storage

PRC yang telah disimpan hingga maksimal 48 jam difiltrasi menggunakan kantong dengan filter leukosit melalui mekanisme gravitasi. Teknik ini memberikan fleksibilitas dan penghematan biaya, tetapi dengan kompromi efektivitas terhadap beberapa parameter klinis/biokimia.

3. Mekanisme Filtrasi Leukosit



Gambar 2 *Leukodepleted* metode filtrasi (Syarifah & Arni, 2023)

Menurut (Utami, 2021) mekanisme filtrasi leukosit terdiri dari dua proses utama, yaitu mekanisme mekanik dan mekanisme fisiko-kimia.

a. Proses mekanik

Filtrasi mekanik bekerja melalui tiga mekanisme: *blocking*, *bridging*, dan *interception*.

- 1) *Blocking* terjadi saat ukuran sel melebihi diameter pori filter sehingga sel tertahan pada permukaan filter.
- 2) *Bridging* terjadi ketika beberapa sel secara bersamaan melewati pori berukuran besar dan kemudian membentuk agregat yang tertahan.
- 3) *Interception* terjadi saat sel melewati jalur pori yang bercabang sehingga akhirnya tertahan pada struktur filter.

b. Proses fisiko-kimia

Proses fisikokimia berfokus pada kemampuan leukosit untuk menempel secara nonspesifik pada membran filter. Mekanisme ini dipengaruhi oleh sifat permukaan filter, seperti muatan, karakteristik fisikokimia, morfologi, dan keberadaan ion kalsium dan magnesium dalam darah.

4. Indikasi *Packed Red Cell Leukodepleted (PRC-LD)*

a. *Febrile Non-Hemolytic Transfusion Reaction (FNHTR)*

Reaksi demam paling sering akibat sitokin yang dilepaskan leukosit donor atau antibodi anti-HLA resepien. Leukodepleksi dapat menurunkan insidens FNHTR hingga >90% (Maharani & Ganjar Noviar, 2018).

b. Aloimunisasi HLA

Aloimunisasi HLA adalah kondisi ketika sistem imun pasien membentuk antibodi terhadap antigen HLA donor yang banyak terdapat pada trombosit dan leukosit. Pasien yang sering menerima transfusi, diantaranya pasien talasemia dan onkologi. Semakin sering melakukan transfusi, maka semakin besar risiko terbentuknya antibodi HLA.

c. Transmisi *Cytomegalovirus (CMV)*

Leukosit adalah reservoir utama CMV. PRC-LD setara dengan produk CMV-seronegatif untuk pencegahan infeksi pada pasien (imunokompromais).

D. Pengukuran Leukosit Residual Menggunakan *Hematology Analyzer*

Hematology analyzer adalah instrumen pemeriksaan in vitro yang berfungsi melakukan analisis hematologi secara otomatis. Proses pengukurannya menggunakan reagen khusus serta prosedur pembersihan (*cleaning*) yang dijalankan sesuai petunjuk pada *manual book* (Dameuli *et al.*, 2018).

Alat ini memiliki sejumlah keunggulan, seperti waktu pemeriksaan yang sangat efisien, umumnya hanya membutuhkan 2–3 menit kebutuhan sampel yang kecil, serta tingkat akurasi hasil yang tinggi. Namun, penggunaan *hematology analyzer* memerlukan perawatan yang cermat, meliputi pengaturan suhu ruangan yang stabil, penyimpanan reagen yang benar, serta memastikan sampel darah tidak mengalami aglutinasi. Sampel yang digunakan harus mengandung antikoagulan, dan hasil pemeriksaan umumnya telah melewati tahapan pengendalian mutu (*quality control*) internal laboratorium.

Hematology analyzer bekerja berdasarkan dua metode utama, yaitu:

a. Metode *Electrical Impedance*

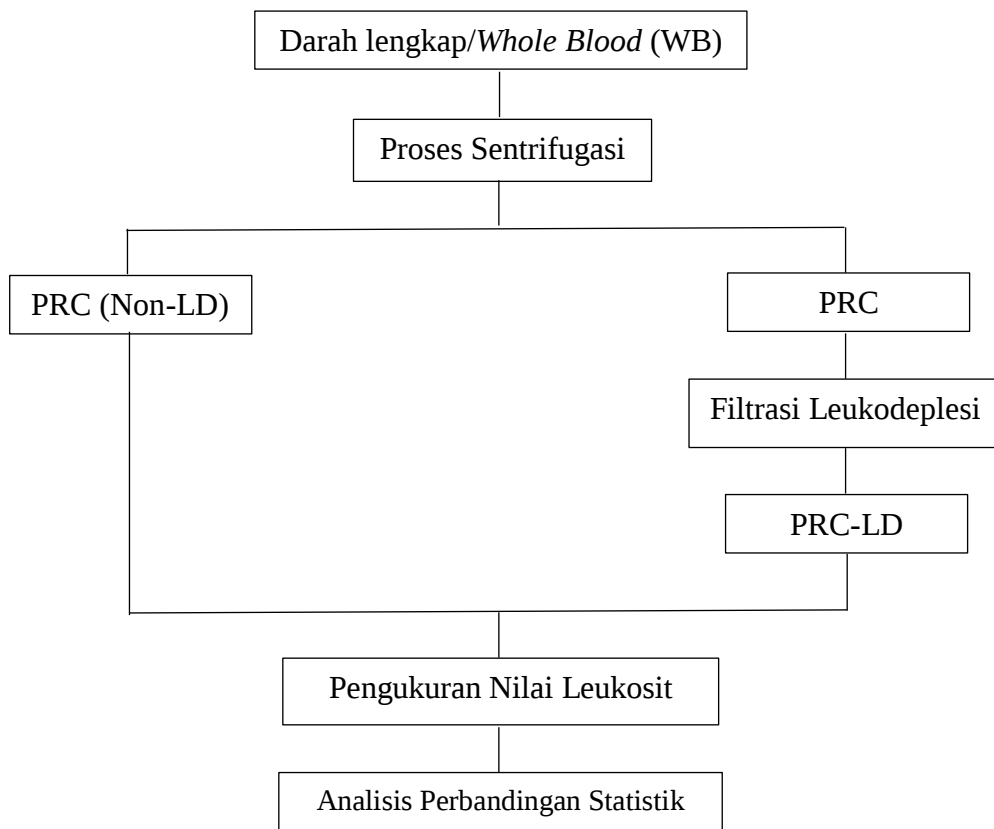
Metode impedansi memanfaatkan perubahan hambatan listrik ketika sel darah melewati elektroda. Setiap sel yang melintas menimbulkan getaran atau perubahan arus, sehingga jumlah sel dapat dihitung sekaligus diestimasi

ukurannya. Dengan prinsip ini, alat menampilkan hasil hitung leukosit, eritrosit, dan trombosit secara otomatis pada lembar cetak.

b. Metode *Flow Cytometry* (Sistem Optik)

Flow cytometry menganalisis beberapa karakteristik fisik sel secara bersamaan. Sel-sel yang tersuspensi dialirkan melalui celah sempit (*aperture*), kemudian dibaca oleh sistem optik untuk mengidentifikasi parameter seluler secara presisi.

E. Kerangka Konsep Penelitian



Gambar 3 Kerangka Penelitian