

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Stunting

1. Pengertian Stunting

Stunting adalah kondisi dimana balita memiliki tinggi dan berat badan yang tidak seimbang dengan umur mereka akibat kekurangan gizi kronis yang terjadi dalam waktu lama pada hari pertama kehidupan. Menurut standar dari WHO jika panjang atau tinggi badan anak lebih dari minus dua (-2) standar pertumbuhan maka akan disebut stunting (WHO, 2020). Stunting bukan hanya dikatakan sebagai sebuah kondisi tubuh yang pendek, namun juga stunting menandakan adanya gangguan pertumbuhan linear dalam jangka waktu lama dalam hitungan tahun (Benjamin-Chung *et al.*, 2023). Stunting adalah indikator untuk mengukur status gizi dari masyarakat. Apabila suatu daerah memiliki prevalensi balita stunting yang tinggi, maka daerah tersebut mengalami masalah umum seperti kesehatan dan sanitasi (Dahliansyah *et al.*, 2023).

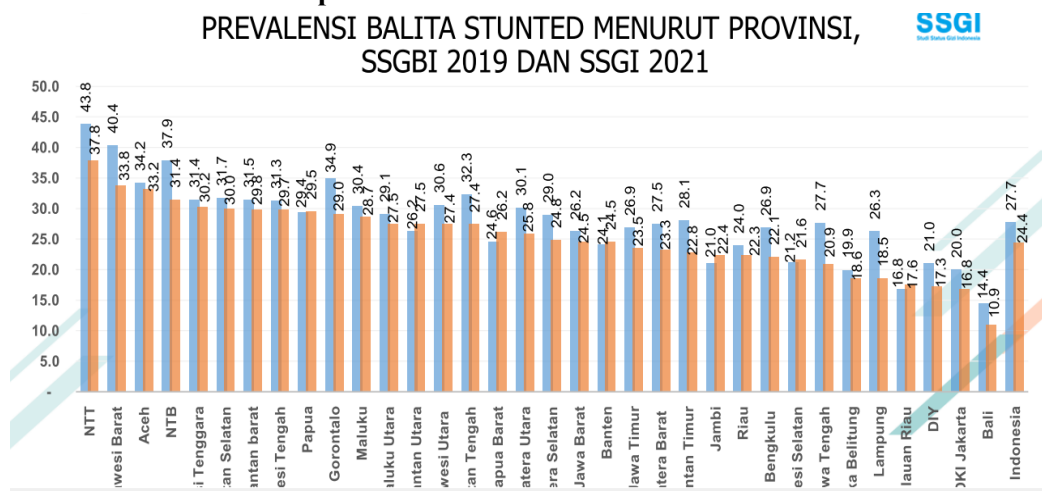
Gambar 2.1 anak stunting



Stunting merupakan kondisi ketika anak mengalami hambatan dalam pertumbuhannya dibandingkan dengan teman seusianya yang sering disertai risiko untuk memiliki tingkat kecerdasan dibawah rata-rata serta berisiko tinggi untuk mengalami penyakit tidak menular seperti hipertensi, penyakit jantung, dan diabetes mellitus. Keadaan ini mencerminkan kegagalan dalam pertumbuhan serta perkembangan anak yang disebabkan oleh kurangnya asupan gizi dalam jangka waktu lama, infeksi berulang, serta kurangnya stimulasi psikososial (Dahliansyah *et al.*, 2023). Kondisi stunting biasanya mulai terjadi sejak didalam periode Seribu Hari Pertama Kehidupan (1000 HPK), yaitu periode antara masa kehamilan selama 270 hari ditambah 730 hari selama usia 2 tahun pertama kehidupan seorang anak (WHO, 2021).

Stunting menjadi salah satu program prioritas nasional karena kasusnya masih banyak ditemukan, terutama di negara berkembang seperti Indonesia. Untuk mencegah stunting, penting untuk memahami faktor-faktor dari pihak ibu yang paling berpengaruh terhadap kejadian stunting pada balita. Pencegahan perlu dilakukan sedini mungkin agar anak memiliki status kesehatan yang optimal serta masa depan yang lebih baik. Beberapa faktor tidak langsung yang dapat memengaruhi stunting pada balita antara lain pola asuh yang kurang optimal seperti pemberian ASI yang tidak eksklusif, akses pelayanan kesehatan termasuk imunisasi yang tidak lengkap, serta kondisi sosial ekonomi keluarga seperti pekerjaan dan tingkat pendidikan orang tua (Alistina *et al.*, 2025).

Gambar 2.2 pravelensi balita stunted tahun 2019 dan 2021
PREVALENSI BALITA STUNTED MENURUT PROVINSI,
SSGBI 2019 DAN SSGI 2021



Berdasarkan hasil survei Studi Status Gizi Indonesia (SSGI) tahun 2021, data dikumpulkan dari 34 provinsi dan 514 kabupaten/kota dengan total 14.889 blok sensus (BS) serta melibatkan 153.228 balita (Kemenkes RI & SSGI, 2021). Secara nasional, angka stunting menunjukkan tren penurunan rata-rata sebesar 1,6 persen per tahun, dari 27,7 persen pada 2019 menjadi 24,4 persen pada 2021 dan sebagian besar provinsi di Indonesia mengalami penurunan angka stunting dibandingkan tahun 2019, hanya lima provinsi yang justru mengalami peningkatan (Aristina *et al.*, 2025)

2. Pengukuran stunting

Penentuan seorang anak mengalami stunting didasarkan dengan pengukuran antropometri panjang badan/tinggi badan. Antropometri berasal dari kata anthropos dan metros. Anthoropos artinya tubuh dan metros artinya ukuran. Jadi antropometri bisa diartikan sebagai ukuran tubuh (Mikawati *et al.*, 2023). Jelliffe (1966) mengungkapkan bahwa antropometri gizi berhubungan dengan berbagai macam pengukuran dimensi tubuh dan komposisi tubuh dari berbagai tingkat umur dan tingkat gizi.

Standar Antropometri Anak didasarkan pada parameter berat badan dan panjang/tinggi badan yang terdiri atas 4 (empat) indeks yaitu :

- a. Berat Badan menurut Umur (BB/U)
- b. Panjang/Tinggi Badan menurut Umur (PB/U atau TB/U)
- c. Berat Badan menurut Panjang/Tinggi Badan (BB/PB atau BB/TB)
- d. Indeks Massa Tubuh menurut Umur (IMT/U).

stunting ditentukan berdasarkan indeks Panjang Badan menurut Umur (PB/U) untuk anak usia 0–23 bulan atau Tinggi Badan menurut Umur (TB/U) untuk anak usia 24–59 bulan, yang dinyatakan dalam Z-score.

Rumus Z-score

$$\text{Z-score} = \frac{\text{nilai pengukuran anak} - \text{median standar WHO}}{\text{simpangan baku standar WHO}}$$

Keterangan :

- TB (tinggi badan anak diubah ke usia bulan).
- Median buku rujukan (d disesuaikan dengan usia anak (diambil dari tabel standar antropometri berdasarkan WHO) dan dilihat berdasarkan jenis kelamin dari si Anak baik itu laki-laki maupun perempuan).
- Simpangan Baku Rujukan (didapatkan dari perhitungan median buku rujukan, jika hasilnya negative (-) maka diambil nilainya dari -1 SD median standar sedangkan jika hasilnya positive (+) maka diambil nilainya dari +1 SD median standar) (Mikawati *et al.*, 2023)

Tabel 2.1 Kategori Status Gizi Berdasarkan Indeks Panjang Badan atau Tinggi Badan, Berat Badan, Umur, dan IMT

Indeks	Kategori status gizi	Ambang batas (z-score)
Berat badan menurut umur (BB/U) anak usia 0 - 60 bulan	Berat badan sangat kurang	<-3 SD
	Berat badan kurang	-3 SD s/d <-2 SD
	Berat badan normal	-3 SD s/d +1 SD
	Risiko Berat badan lebih	>+1 SD
Panjang badan atau tinggi badan menurut umur (PB/U atau TB/U) anak usia 0 - 60 bulan	Sangat pendek	<-3 SD
	Pendek	<-3 SD s/d <-2 SD
	Normal	-2 SD s/d +3 SD
	Tinggi	>+3 SD
Berat badan menurut Panjang badan atau tinggi badan (BB/PB atau BB/TB) anak usia 0 - 60 bulan	Gizi buruk	<-3 SD
	Gizi kurang	-3 SD s/d <-2 SD
	Gizi baik	-2 SD s/d +1 SD
	Berisiko gizi lebih	>+1 SD s/d +2 SD
	Gizi lebih	>+2 SD s/d +3 SD
	Obesitas	>+3 SD
Indeks Massa Tubuh menurut umur (IMT/U) anak usia 0 - 60 bulan	Gizi buruk	<-3 SD
	Gizi kurang	-3 SD s/d <-2 SD
	Gizi baik	-2 SD s/d +1 SD
	Berisiko gizi lebih	>+1 SD s/d +2 SD
	Gizi lebih	>+2 SD s/d +3 SD
	Obesitas	>+3 SD

3. Ciri-ciri Stunting

Anak yang mengalami stunting ditentukan melalui pengukuran tinggi badan menurut umur (TB/U) yang dibandingkan dengan standar pertumbuhan anak normal sesuai usia dan jenis kelamin yang sama. Anak dengan tinggi badan di bawah standar tersebut dikategorikan sebagai mengalami stunting (Ntawuyirushintege *et al.*, 2025).

Ciri-ciri anak yang mengalami stunting :

- a. Anak dikategorikan bertumbuh pendek apabila tinggi badannya lebih rendah dibandingkan dengan tinggi normal anak seusianya. Kondisi ini ditentukan berdasarkan nilai Z-score panjang atau tinggi badan menurut usia yang berada di bawah -2 standar deviasi dari standar pertumbuhan.
- b. Anak cenderung menunjukkan kemampuan yang kurang optimal dalam hal fokus perhatian dan daya ingat, serta mengalami penurunan pada fungsi kognitif dan pencapaian akademik di sekolah.
- c. Anak dengan stunting lebih rentan terserang penyakit, terutama infeksi, karena mengalami gangguan metabolisme serta penurunan daya tahan tubuh. Proses penyembuhan saat sakit pun cenderung lebih sulit dan memerlukan waktu lebih lama. Ketika dewasa, individu yang mengalami stunting berisiko lebih tinggi menderita penyakit tidak menular seperti diabetes mellitus, hipertensi, obesitas, dan penyakit lainnya.
- d. Pertumbuhan gigi anak menjadi lebih lambat akibat kekurangan asupan gizi, sehingga menghambat proses tumbuh kembang secara keseluruhan, termasuk pertumbuhan gigi.
- e. Wajah anak terlihat lebih muda dari usia sebenarnya akibat adanya hambatan dalam proses pertumbuhannya.
- f. Pada usia 8–10 tahun, anak cenderung menjadi lebih pendiam dan jarang melakukan kontak mata (eye contact) dengan orang lain.
- g. Berat badan balita saat ditimbang cenderung mengalami penurunan.

- h. Pertumbuhan fisik pada masa remaja menjadi terhambat, misalnya ditandai dengan keterlambatan menarche atau menstruasi pertama pada anak perempuan.
- i. Berdasarkan beberapa Penelitian menunjukkan bahwa anak stunting kemungkinan tidak akan pernah mencapai potensi penuh dan memiliki perkembangan kognitif yang rendah. Kondisi ini menyebabkan pendidikan menjadi kurang optimal, terjadi penurunan kapasitas intelektual dan perkembangan motorik anak.
- j. Selain pendek dan kerdil, anak yang mengalami stunting juga terlihat kurus.

4. Penyebab Stunting

Stunting memiliki pengaruh yang besar terhadap pertumbuhan serta masa depan anak. Kondisi ini dapat menghambat perkembangan fisik anak dan juga mengganggu kemampuan kognitif, yang berdampak pada menurunnya kualitas belajar di sekolah. Dalam jangka panjang, stunting dapat menyebabkan penurunan produktivitas ketika anak memasuki usia dewasa serta meningkatkan risiko munculnya penyakit tidak menular (Azizah *et al.*, 2025).

Faktor utama penyebab stunting adalah kurangnya asupan gizi dari makanan yang dikonsumsi anak. Kekurangan protein dan energi menjadi komponen penting yang berperan besar dalam memicu terjadinya stunting pada anak (Isrina *et al.*, 2024). Hasil penelitian yang dilakukan oleh Siti maemunah menunjukkan bahwa bayi yang hanya memperoleh ASI

memiliki risiko lebih tinggi mengalami gangguan pertumbuhan, dengan kemungkinan peningkatan hingga 3,7 kali lipat (Siti Maemunah, 2021).

Stunting disebabkan oleh berbagai faktor yang bersifat langsung maupun tidak langsung yang dikenal sebagai faktor risiko stunting.

a. Penyebab langsung :

Faktor rumah tangga dan keluarga, terdiri dari:

1) Faktor ibu:

Berbagai faktor berkontribusi terhadap terjadinya stunting termasuk kekurangan gizi sejak masa prakonsepsi, kehamilan, hingga laktasi, perawakan ibu yang pendek, infeksi, kehamilan pada usia remaja, masalah kesehatan mental, *Intra Uterine Growth Restriction* (IUGR), kelahiran prematur, jarak kelahiran yang pendek, serta hipertensi. Selain faktor biologis tersebut, tingkat pendidikan ibu juga memiliki hubungan yang bermakna dengan peningkatan risiko stunting pada anak. Pengetahuan yang dimiliki seorang ibu berperan penting dalam hal penyediaan makanan, pengasuhan, serta perawatan anak (Anggraini, 2025). Ibu dengan pemahaman yang baik akan mampu merancang strategi pengasuhan yang lebih efektif. Oleh karena itu, ibu yang memiliki wawasan luas tentang gizi cenderung lebih terampil dalam mengolah makanan, menyusun menu bergizi seimbang, serta menjaga kualitas dan kebersihan makanan sehingga kemungkinan

terjadinya stunting pada anak dapat diminimalkan (Fayola *et al.*, 2025).

2) Lingkungan

Faktor lingkungan rumah tangga yang berkontribusi terhadap terjadinya stunting. Faktor-faktor tersebut meliputi kurangnya stimulasi dan aktivitas anak, praktik pengasuhan yang tidak optimal, sanitasi serta ketersediaan air bersih yang kurang memadai, kerawanan pangan, distribusi pangan dalam keluarga yang tidak sesuai, rendahnya tingkat pendidikan pengasuh, kondisi sosial ekonomi keluarga, kebiasaan merokok orang tua, perawakan ayah yang pendek, dan jumlah anggota rumah tangga yang besar.

3) Makanan

Pemberian makanan pendamping ASI (MP-ASI) yang tidak adekuat merupakan salah satu faktor risiko stunting. Kondisi tersebut ditandai dengan rendahnya kualitas mikronutrien, kurangnya keragaman jenis makanan, terbatasnya konsumsi pangan hewani, serta kandungan energi dan zat gizi dalam MP-ASI yang belum mampu memenuhi kebutuhan pertumbuhan anak.

4) Sanitasi

Keamanan pangan dan air memiliki peran penting dalam menjaga status gizi anak. Makanan dan air yang terkontaminasi, serta praktik kebersihan, pengolahan, dan penyimpanan makanan yang

tidak higienis, dapat meningkatkan risiko terjadinya gangguan kesehatan dan masalah gizi, termasuk stunting.

5) ASI eksklusif

Pemberian ASI yang kurang memadai ditandai dengan penundaan Inisiasi Menyusu Dini (IMD), tidak terlaksananya pemberian ASI eksklusif selama enam bulan pertama, dan penyapihan yang dilakukan terlalu dini.

6) Infeksi

Kejadian stunting juga dipengaruhi oleh adanya infeksi, baik yang bersifat klinis maupun subklinis. Infeksi tersebut meliputi diare, kecacingan, infeksi saluran pernapasan, malaria, penurunan nafsu makan akibat infeksi, peradangan, serta ketidaklengkapan imunisasi.

b. Penyebab tidak langsung :

1) Kondisi ekonomi dan politik merupakan faktor tidak langsung yang dapat memengaruhi terjadinya stunting. Faktor-faktor tersebut meliputi harga pangan, kebijakan perdagangan, peraturan pemasaran, stabilitas politik, tingkat kemiskinan, pendapatan dan kekayaan rumah tangga, serta ketersediaan lapangan kerja dan mata pencaharian yang berdampak pada pemenuhan kebutuhan gizi anak.

2) Kualitas pelayanan kesehatan dan pendidikan merupakan faktor yang berkontribusi terhadap kejadian stunting. Aspek pelayanan

kesehatan mencakup akses terhadap fasilitas kesehatan, ketersediaan tenaga kesehatan yang berkualitas, infrastruktur dan sistem pelayanan yang memadai, serta kebijakan kesehatan yang mendukung. Sementara itu, faktor pendidikan meliputi akses terhadap pendidikan berkualitas, tenaga pendidik dan edukator kesehatan yang kompeten, serta tersedianya sarana dan prasarana pendidikan yang memadai. (Astuti, 2022).

5. Dampak Stunting

Stunting adalah masalah gizi utama yang akan berdampak dalam kondisi sosial dan ekonomi masyarakat. Dampak stunting dibagi menjadi dua, yakni dampak jangka panjang dan dampak jangka pendek. Dampak jangka pendek kejadian stunting yaitu terganggunya perkembangan otak, pertumbuhan fisik, kecerdasan, dan gangguan metabolisme pada tubuh (Kemenkes RI, 2022). Sedangkan untuk jangka panjangnya yaitu mudah sakit, munculnya penyakit diabetes, penyakit jantung dan pembuluh darah, kegemukan, kanker, stroke, disabilitas pada usia tua, dan kualitas kerja yang kurang baik sehingga membuat produktivitas menjadi rendah. Stunting juga dapat mempengaruhi kesehatan, pendidikan, dan aktivitas dari balita dalam jangka panjang. Anak balita yang mengalami stunting akan sulit dalam perkembangan dan pertumbuhan secara optimal, baik itu secara fisik maupun psikomotorik (Fayola *et al.*, 2025).

Stunting dapat menghambat perkembangan motorik kasar maupun halus pada anak, karena kondisi ini menyebabkan keterlambatan dalam

pematangan sel-sel saraf, terutama pada bagian cerebellum yang berperan penting dalam mengatur koordinasi gerak tubuh (Calista *et al.*, 2021).

6. Pencegahan Stunting

Penerapan langkah-langkah pencegahan stunting memiliki makna yang sangat penting, terutama dengan penekanan pada promosi pemberian ASI eksklusif serta pemenuhan asupan suplemen mikronutrien atau makanan bergizi seimbang bagi anak-anak. ASI terbukti memiliki peran besar dalam menurunkan risiko stunting karena kandungannya yang kaya akan nutrisi makro dan mikro. Sebagai sumber utama gizi bayi, ASI mengandung protein berkualitas tinggi dan berbagai zat bioaktif yang mendukung sistem imun. Oleh sebab itu, ibu sangat dianjurkan untuk memberikan ASI eksklusif selama enam bulan pertama kehidupan bayi, karena nutrisi alami ini mampu meningkatkan daya tahan tubuh melalui kandungan protein dan setelah bayi berusia enam bulan, pemberian Makanan Pendamping ASI (MP-ASI) perlu dilakukan dengan memastikan makanan tersebut mengandung nutrisi mikro dan makro yang memadai untuk mencegah risiko stunting (Maemunah *et al.*, 2021).

Menurut WHO (2023) pengendalian asupan makanan yang berpotensi meningkatkan risiko stunting sangat penting dilakukan. Upaya pencegahan juga mencakup penerapan kebijakan publik yang efektif dalam menjamin ketersediaan pangan bergizi, mengurangi konsumsi makanan olahan tinggi lemak, gula, dan garam, serta memperkuat regulasi pemasaran

produk makanan, pelabelan gizi, dan perlindungan terhadap praktik menyusui.

Dengan pengetahuan yang memadai dan pembentukan pola pikir positif, calon pengantin dapat memperbaiki status gizi mereka sebelum memasuki masa kehamilan. Langkah ini berdampak besar terhadap kesehatan ibu, perkembangan janin, serta kualitas bayi yang akan dilahirkan. Kesadaran akan pentingnya pencegahan stunting dapat membantu calon pasangan untuk menerapkan intervensi gizi yang tepat sejak masa prakonsepsi, yang merupakan fondasi penting dalam 1000 hari pertama kehidupan (Puskesmas Kuta Selatan, 2025).

Selain itu, pelaksanaan pemeriksaan kesehatan pra-nikah merupakan langkah penting dalam upaya pencegahan stunting. Pemeriksaan ini sebaiknya dilakukan minimal tiga bulan sebelum pernikahan untuk mendeteksi potensi masalah kesehatan yang bisa memengaruhi kehamilan. Pemeriksaan tersebut umumnya meliputi tes darah, pemeriksaan infeksi menular seksual, tes TORCH, serta evaluasi kesehatan reproduksi.

Pemeriksaan kesehatan pada masa pra-kehamilan atau pra-konsepsi juga memiliki peran vital karena kebutuhan gizi wanita pada masa ini berbeda dengan masa lainnya. Oleh karena itu, penting bagi wanita untuk melakukan penilaian status gizi secara rutin, baik sebelum maupun sesudah menikah. Kekurangan gizi yang tidak ditangani dapat menyebabkan berat badan lahir rendah (BBLR), yang merupakan salah satu faktor risiko utama terjadinya stunting. Ibu hamil dengan kekurangan energi kronis (KEK) atau

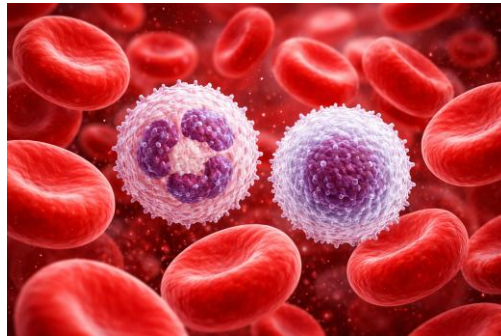
anemia berisiko lebih tinggi melahirkan bayi dengan BBLR (Annisa *et al.*, 2025). Bayi dengan berat lahir rendah memiliki potensi besar mengalami hambatan pertumbuhan (Putu *et al.*, 2025).

B. Darah

1. Pengertian Darah

Darah merupakan jaringan cair yang memiliki peran penting dalam menjaga fungsi fisiologis tubuh dan bersirkulasi melalui jantung serta pembuluh darah. Darah terdiri atas dua komponen utama, yaitu plasma sebagai bagian cair dan komponen seluler yang meliputi eritrosit, leukosit, serta trombosit. Plasma darah mencakup sekitar 55% dari volume darah dan berfungsi sebagai media transportasi zat-zat penting, sedangkan komponen sel darah menyusun sekitar 45% dari volume darah total dan berperan dalam fungsi fisiologis seperti pengangkutan oksigen, pertahanan imun, serta pembekuan darah (Hematology, 2021). Warna darah manusia bervariasi antara merah terang dan merah gelap, yang menunjukkan kadar oksigennya, darah merah terang menandakan kandungan oksigen tinggi, sedangkan darah merah gelap menunjukkan kadar oksigen yang lebih rendah (Wikipedia, 2025).

Gambar 2.3 Gambaran Darah



Darah terdiri atas plasma sebagai komponen cair dan elemen seluler yang meliputi eritrosit, leukosit, serta trombosit. Pada orang dewasa, volume darah rata-rata sekitar 5 liter dengan komposisi sekitar 55% plasma dan 45% elemen seluler. Fungsi utama darah adalah mengangkut oksigen ke seluruh jaringan melalui hemoglobin yang terdapat dalam eritrosit, menjaga keseimbangan asam-basa tubuh, serta membawa sisa hasil metabolisme menuju organ ekskresi untuk dikeluarkan dari tubuh (Aate *et al.*, 2023).

2. Fungsi Darah

Darah memiliki peran yang sangat penting dalam mempertahankan fungsi fisiologis tubuh. Secara umum, darah menjalankan beberapa fungsi utama sebagai berikut :

a. Sebagai alat pengangkut

Darah berfungsi sebagai media transportasi berbagai zat penting dalam tubuh, termasuk membawa oksigen dari paru-paru ke seluruh jaringan, mengangkut karbon dioksida hasil metabolisme dari jaringan menuju paru-paru, mendistribusikan zat gizi yang telah diserap usus ke seluruh

tubuh, serta membawa sisa metabolisme ke organ ekskresi seperti ginjal dan kulit.

- b. Darah sebagai pengatur keseimbangan asam basa tubuh.
- c. Darah sebagai pengatur suhu tubuh (Putra *et al.*, 2024).

3. Komponen Penyusun Darah

Darah terdiri dari dua bagian utama, yaitu plasma darah dan komponen seluler, yang mencakup eritrosit (sel darah merah), leukosit (sel darah putih), serta trombosit.

a. Plasma darah

Plasma darah merupakan bagian cair dari darah yang mengandung berbagai nutrisi dan zat penting yang dibutuhkan tubuh, seperti protein albumin, globulin, faktor pembekuan darah, serta beragam elektrolit, hormon, dan gas. Sekitar 55% dari total volume darah terdiri atas plasma, yang komposisinya meliputi sekitar 92% air, 7% protein, dan 1% zat gizi, hasil metabolisme, gas pernapasan, enzim, hormon, faktor pembekuan, serta garam-garam organik. Protein yang terdapat dalam plasma meliputi serum albumin, globulin (α_1 , α_2 , β , dan γ), fibrinogen, protrombin, dan protein penting lainnya yang berperan dalam proses pembekuan darah. Serum albumin dan gamma globulin berperan penting dalam menjaga tekanan osmotik koloid, sedangkan gamma globulin mengandung antibodi (imunoglobulin) seperti IgM, IgG, IgA, IgD, dan IgE yang berfungsi melindungi tubuh dari mikroorganisme (Infolabmed.com, 2024).

Plasma darah juga berfungsi sebagai sistem penyangga atau buffer yang membantu menjaga keseimbangan asam-basa tubuh melalui kandungan elektrolit seperti ion hidrogen dan bikarbonat. Fungsi utama plasma adalah sebagai media pengangkut yang menyalurkan nutrisi, mineral, glukosa, dan asam amino ke seluruh jaringan tubuh. Plasma juga berperan dalam membawa sisa-sisa metabolisme seperti urea dan asam urat untuk dikeluarkan dari tubuh (StatPearls, 2023).

b. Sel-sel darah

darah terdiri atas komponen cair dan komponen seluler. Komponen seluler atau bagian padat darah memiliki proporsi sekitar 45% dari total volume darah dan tersusun atas eritrosit, leukosit, serta trombosit. Eritrosit merupakan jenis sel darah yang paling banyak ditemukan dan mencakup sekitar 44% dari volume darah, sedangkan leukosit dan trombosit hanya membentuk sekitar 1% dari keseluruhan volume darah.

1) Sel Darah Merah (Eritrosit)

Sel darah merah (eritrosit) merupakan sel darah yang berwarna merah yang berbentuk cakram bikonkaf dengan bagian tengah yang lebih tipis dibandingkan tepinya. Struktur tersebut meningkatkan luas permukaan sel sehingga pertukaran gas dapat berlangsung secara lebih efisien. Jumlah eritrosit dalam darah normal berkisar sekitar 5 juta sel per milimeter kubik darah. Eritrosit mengandung hemoglobin yang berfungsi mengikat dan mengangkut oksigen dari paru-paru menuju jaringan tubuh, serta membantu membawa karbon dioksida dari

jaringan kembali ke paru-paru. Proses pembentukan eritrosit terjadi di sumsum tulang dan diatur oleh hormon eritropoietin yang disekresikan oleh ginjal sebagai respons terhadap kebutuhan oksigen tubuh. Hormon ini berperan dalam merangsang pembentukan sel darah merah di sumsum tulang (Aate *et al.*, 2023).

2) Sel Darah Putih (Leukosit)

Sel darah putih atau leukosit merupakan komponen penting dalam sistem pertahanan tubuh yang berfungsi melawan infeksi dan zat asing yang masuk ke dalam tubuh. Biasanya jumlah leukosit lebih sedikit daripada sel darah merah atau eritrosit. Bentuk dari leukosit bisa bervariasi dari lonjong hingga bulat. Leukosit terdiri dari dua kategori utama: Granulosit (monosit dan limfosit) dan granulosit (heterofil, eosinofil, dan basofil). Dalam darah perifer, telah diidentifikasi lima jenis sel darah putih, yakni Eosinofil (1-2%), Basofil (0-1%), Neutrofil (55%), Limfosit (36%), dan Monosit (6%). Leukosit memiliki berbagai fungsi yang terkait erat dengan menghilangkan benda asing, termasuk mikroorganisme patogen. Rentang normal jumlah leukosit dalam darah adalah 4.000 hingga 10.000 per mililiter kubik darah. Fungsi utama sel darah putih adalah sebagai pertahanan tubuh terhadap infeksi, memberikan perlindungan dari mikroorganisme dengan kemampuannya sebagai fagosit yang dapat menelan bakteri hidup yang masuk ke dalam sirkulasi darah, serta membantu dalam proses penyembuhan luka (Loddo *et al.*, 2021).

3) Keping Darah

Keping darah atau trombosit merupakan fragmen sel kecil yang tidak memiliki inti, berasal dari pemecahan sel megakariosit yang terdapat di sumsum tulang. Komponen ini memiliki peran penting dalam proses pembekuan darah dan menjaga integritas pembuluh darah. Ketika terjadi luka pada pembuluh darah, trombosit segera menempel pada area yang rusak dan membentuk sumbatan sementara untuk mencegah kehilangan darah lebih lanjut (Hoffbrand *et al.*, 2019).

Trombosit juga mengandung berbagai zat kimia seperti serotonin, kalsium, ADP, dan tromboksan yang membantu mempercepat proses pembekuan darah. Jumlah normal trombosit dalam darah manusia berkisar antara 150.000 hingga 450.000 per mikroliter darah, dan penurunan jumlahnya dapat menyebabkan gangguan perdarahan seperti trombositopenia (Hoffbrand *et al.*, 2019).

C. Hemoglobin

1. Definisi Hemoglobin

Hemoglobin (Hb) adalah suatu protein tetramer yang ditemukan dalam sel darah merah yang terikat dengan molekul non-protein yang merupakan senyawa porfirin besi atau dikenal sebagai heme. Heme adalah senyawa porfirin yang sangat tergantung pada keberadaan zat besi (Fe), sedangkan globin adalah protein tetramer yang berfungsi mengikat molekul nonprotein lainnya. Ketersediaan hemoglobin dalam sirkulasi darah sangat dipengaruhi oleh asupan zat besi dan protein yang cukup setiap harinya. Dengan

kecukupan tersebut, hemoglobin dapat melaksanakan peran penting dalam pengangkutan oksigen ke seluruh tubuh. Hemoglobin memiliki dua fungsi utama, yaitu mengedarkan oksigen ke berbagai bagian tubuh dan membawa karbon dioksida serta proton dari seluruh tubuh menuju saluran pernapasan, dimana zat-zat ini kemudian dikeluarkan melalui hidung (Hall, 2021).

Peran utama hemoglobin (Hb) dalam tubuh adalah mendistribusikan oksigen dari organ pernapasan ke jaringan dan mengangkut karbon dioksida serta proton dari jaringan perifer ke organ respirasi, serta berfungsi sebagai bagian dari sel darah merah. Unsur-unsur yang ada dalam hemoglobin terdiri dari protein, garam, besi, dan pigmen (Saraswati, 2021). Menurut Mathew *et al.*, (2023) hemoglobin merupakan metalloprotein yang mengandung besi dan tersusun atas empat gugus heme dan empat rantai globin, yang memungkinkan hemoglobin mengikat oksigen secara reversibel dan berperan penting dalam menjaga keseimbangan asam-basa darah. Selain itu hemoglobin juga didefinisikan sebagai indikator utama kapasitas darah dalam mengangkut oksigen, sehingga kadar hemoglobin sering digunakan sebagai parameter klinis untuk menilai status anemia dan kondisi kesehatan secara umum, terutama pada anak-anak dan ibu hamil (WHO, 2024).

Hemoglobin berperan penting dalam pertumbuhan dan perkembangan, terutama pada bayi dan anak-anak. Suplai oksigen yang cukup diperlukan untuk pertumbuhan jaringan, perkembangan otak, dan fungsi kognitif. Kadar hemoglobin yang rendah dalam jangka panjang dapat mengganggu tumbuh kembang anak dan berkontribusi terhadap masalah gizi seperti stunting.

Kadar hemoglobin dalam darah dapat mencerminkan tingkat produktivitas seseorang, karena hemoglobin berfungsi sebagai komponen penting dalam proses pembakaran zat gizi untuk menghasilkan energi bagi tubuh.

Kadar hemoglobin dapat diukur melalui pemeriksaan kimiawi untuk mengetahui konsentrasi hemoglobin dalam setiap 100 mL darah. Nilai tersebut digunakan sebagai indikator kemampuan darah dalam mengangkut oksigen ke seluruh jaringan tubuh. Kadar hemoglobin yang berada di bawah nilai normal dapat mengindikasikan anemia, sedangkan kadar yang melebihi batas normal dapat menunjukkan kondisi polisitemia. Secara umum, kadar hemoglobin normal pada pria dewasa berkisar antara 14–18 g/dL, sedangkan pada wanita dewasa yang tidak hamil berkisar antara 12–16 g/dL. (Widyantari, 2021).

Kadar hemoglobin dapat meningkat ketika tubuh mengalami kondisi yang menyebabkan kebutuhan oksigen jaringan bertambah atau volume plasma menurun. Salah satu keadaan fisiologis yang umum menyebabkan peningkatan hemoglobin adalah tinggal atau berada di dataran tinggi. Pada kondisi ini, tekanan parsial oksigen di udara lebih rendah, sehingga tubuh merespons dengan meningkatkan produksi eritropoietin (EPO) di ginjal. Hormon ini merangsang sumsum tulang untuk memproduksi lebih banyak sel darah merah, yang secara langsung meningkatkan kadar hemoglobin sebagai mekanisme adaptasi untuk mempertahankan suplai oksigen ke jaringan (Kassa *et al.*, 2023). Peningkatan kadar hemoglobin juga dapat terjadi akibat dehidrasi, yaitu kondisi ketika volume plasma darah menurun akibat

kehilangan cairan. Pada keadaan ini, jumlah sel darah merah sebenarnya tidak bertambah, namun konsentrasi hemoglobin tampak meningkat karena darah menjadi lebih pekat (hemokonsentrasi). Kondisi ini sering dijumpai pada individu dengan asupan cairan yang kurang, diare berat, atau muntah berkepanjangan (Rodak *et al.*, 2024).

Selain faktor fisiologis, peningkatan hemoglobin juga dapat disebabkan oleh kondisi patologis. Penyakit paru kronis, penyakit jantung bawaan sianotik, dan gangguan pernapasan yang menurunkan oksigenasi darah dapat memicu tubuh meningkatkan produksi sel darah merah sebagai kompensasi terhadap hipoksia kronis. Keadaan ini dikenal sebagai polisitemia sekunder, yang ditandai dengan peningkatan kadar hemoglobin dan hematokrit (Hoffbrand *et al.*, 2022).

Sedangkan Penurunan kadar hemoglobin terjadi ketika jumlah sel darah merah berkurang, produksi hemoglobin terganggu, atau terjadi kehilangan darah, sehingga kapasitas darah dalam mengangkut oksigen menurun. Salah satu penyebab paling umum adalah anemia defisiensi besi, yaitu kondisi ketika asupan atau penyerapan zat besi tidak mencukupi untuk sintesis hemoglobin. Kekurangan zat besi menyebabkan pembentukan eritrosit menjadi tidak optimal dan kadar hemoglobin menurun, yang sering dijumpai pada anak-anak, ibu hamil, serta individu dengan status gizi buruk (WHO, 2021).

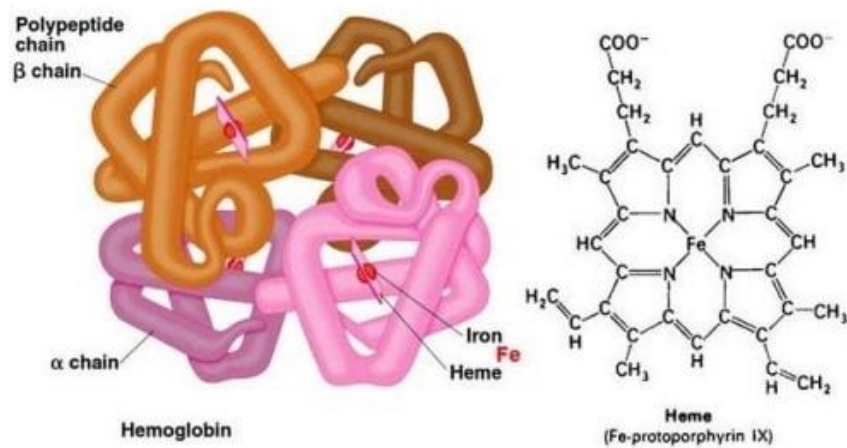
Kadar hemoglobin juga dapat menurun pada kondisi kehilangan darah akut maupun kronis, seperti perdarahan gastrointestinal, perdarahan

menstruasi berlebihan, atau trauma. Kehilangan darah menyebabkan berkurangnya jumlah eritrosit dan hemoglobin secara langsung, sehingga tubuh tidak mampu mempertahankan kapasitas angkut oksigen yang adekuat (Rodak *et al.*, 2024). Selain itu, penurunan hemoglobin dapat terjadi akibat gangguan produksi sel darah merah di sumsum tulang. Penyakit kronis seperti infeksi menahun, penyakit ginjal kronik, dan penyakit inflamasi dapat menghambat eritropoiesis melalui penurunan produksi eritropoietin atau gangguan pemanfaatan zat besi, yang dikenal sebagai anemia penyakit kronik. Pada kondisi ini, kadar hemoglobin menurun meskipun cadangan zat besi tubuh masih cukup (Hoffbrand *et al.*, 2022).

2. Struktur hemoglobin

Hemoglobin terdiri dari dua kata “haem” dan “globin”, haem adalah gugus prostetik yang terdiri atas atom besi dan molekul yang terdiri dari rantai polipeptida globin (alfa, beta, gama, dan delta) sedangkan globin adalah protein yang telah dipecah menjadi asam amino (Alivameita *et al.*, 2019). Hemoglobin adalah metalo protein pengangkut O₂ dari paru-paru ke jaringan tubuh dan mengambil CO₂ dari jaringan tersebut dibawa ke paru untuk dibuang ke udara bebas. Molekul hemoglobin terdiri dari globin, apoprotein, dan empat gugus heme suatu molekul organik dengan satu atom besi. Hemoglobin merupakan molekul yang terdiri dari kandungan heme (zat besi) dan rantai polipeptida globin (alfa, beta, gama, dan delta).

Gambar 2.4 struktur hemoglobin



Struktur Hb tersusun atas 4 grup heme (zat besi) dan 4 rantai polipeptida dengan total asam amino sebanyak 574 buah. Rantai polipeptidanya terdiri dari dua rantai α dan dua rantai β dengan setiap rantai berikatan dengan satu grup heme. Pada setiap rantai α terdapat 141 asam amino dan setiap rantai β terdapat 146 asam amino. Pada pusat molekul terdapat cincin heterosiklik yang dikenal dengan nama porfirin. Porphirin terbentuk dari empat cincin pirol yang 4 dihubungkan oleh suatu jembatan untuk membentuk cincin tetrapirrol. Pada cincin ini terdapat empat gugus metil dan gugus vinil serta dua sisi rantai propionat. Porphirin yang menahan satu atom Fe disebut dengan nama heme. Pada molekul heme tersebut, Fe bisa melekat dan menghantarkan O₂ serta CO₂ melalui darah (Si Manis, 2025).

3. Jenis- jenis hemoglobin

Hemoglobin merupakan protein yang terdapat di dalam eritrosit dan berperan penting dalam proses transportasi oksigen dari paru-paru ke jaringan

tubuh serta membawa sebagian karbon dioksida dari jaringan kembali ke paru-paru. Berdasarkan susunan rantai globinnya, hemoglobin dibedakan menjadi beberapa jenis. Selain itu, hemoglobin juga dapat diklasifikasikan berdasarkan ikatannya dengan berbagai senyawa kimia sehingga membentuk derivat hemoglobin. Derivat hemoglobin merupakan bentuk turunan hemoglobin yang terbentuk akibat adanya ikatan antara hemoglobin dengan molekul tertentu. Setiap jenis derivat memiliki karakteristik dan sifat yang berbeda sesuai dengan struktur kimia yang dimilikinya, di antaranya sebagai berikut :

a. Oksihemoglobin

Oksigen yang berikatan dengan hemoglobin akan membentuk oksihemoglobin (HbO_2). Ikatan ini terjadi karena hemoglobin memiliki afinitas yang tinggi terhadap oksigen, sehingga memungkinkan oksigen diangkut dari paru-paru menuju seluruh jaringan tubuh untuk memenuhi kebutuhan metabolisme sel.

b. Deoksihemoglobin

hemoglobin yang belum atau tidak berikatan dengan oksigen. Bentuk ini umumnya ditemukan setelah hemoglobin melepaskan oksigen ke jaringan tubuh dan kembali menuju paru-paru untuk mengikat oksigen kembali.

c. Karboksihemoglobin

Karbon monoksida (CO) dapat berikatan dengan hemoglobin membentuk karboksihemoglobin (HbCO). Dibandingkan dengan

oksigen, hemoglobin memiliki afinitas terhadap CO sekitar 210 kali lebih besar sehingga pembentukan HbCO lebih mudah terjadi. Pada individu sehat, kadar HbCO umumnya berkisar antara 1–3% dari total hemoglobin. Ikatan HbCO yang stabil menyebabkan pelepasan CO berlangsung lambat, sehingga kemampuan hemoglobin dalam mengangkut dan melepaskan oksigen ke jaringan menurun. Kondisi ini dapat mengakibatkan hipoksia jaringan dan, apabila berlangsung berat, berpotensi menyebabkan keracunan karbon monoksida, gangguan metabolisme sel, serta penurunan fungsi berbagai enzim intraseluler.

d. Sulfhemoglobin

Sulfhemoglobin adalah salah satu bentuk derivat hemoglobin yang terbentuk melalui ikatan antara hemoglobin dan hidrogen sulfida (H_2S). Derivat ini tidak mampu mengikat oksigen, namun masih dapat berikatan dengan karbon dioksida membentuk karboksi-sulfhemoglobin. Pada kondisi normal, kadar sulfhemoglobin dalam sirkulasi darah umumnya kurang dari 1% dari total hemoglobin. Apabila kadarnya meningkat, kemampuan darah dalam mengangkut oksigen dapat menurun dan berpotensi menimbulkan gangguan keseimbangan asam-basa, termasuk asidosis yang sering kali tidak disertai gejala klinis (asimtomatik).

e. Methemoglobin

Methemoglobin merupakan bentuk hemoglobin yang mengandung besi dalam keadaan teroksidasi, yaitu feri (Fe^{3+}), bukan fero (Fe^{2+}) seperti pada hemoglobin normal. Perubahan valensi besi tersebut menyebabkan

methemoglobin tidak mampu mengikat oksigen secara efektif sehingga kapasitas transportasi oksigen darah menurun. Pada kondisi fisiologis, kadar methemoglobin umumnya kurang dari 2% dari total hemoglobin. Peningkatan kadar methemoglobin hingga sekitar 10% dapat menimbulkan sianosis, sedangkan kadar yang mencapai sekitar 60% dapat menyebabkan hipoksia berat dan mengancam jiwa apabila tidak segera ditangani (Hall, 2021).

Adapun jenis-jenis hemoglobin yang merupakan dasar pembentukan dari berbagai derivat hemoglobin.

a. Hemoglobin Embrional (HbE)

Hemoglobin embrional (HbE) merupakan hemoglobin primitif yang diproduksi oleh eritrosit imatur di dalam *yolk sac* pada tahap awal perkembangan embrio. Selama sekitar dua minggu pertama masa gestasi, eritroblas di *yolk sac* mensintesis rantai globin zeta (ζ) dan epsilon (ϵ) yang kemudian membentuk hemoglobin Gower-1 ($\zeta_2\epsilon_2$). Seiring perkembangan embrio, sintesis rantai alfa (α) mulai menggantikan rantai zeta (ζ), sehingga terbentuk hemoglobin Gower-2 ($\alpha_2\epsilon_2$), sedangkan kombinasi rantai zeta (ζ) dan gamma (γ) menghasilkan hemoglobin Portland ($\zeta_2\gamma_2$). Pada usia kehamilan sekitar 4–8 minggu, hemoglobin yang paling dominan adalah Hb Gower-1 dan Hb Gower-2, yang sebagian besar disintesis di *yolk sac*. Namun, hemoglobin embrional tersebut secara bertahap menghilang dan digantikan oleh hemoglobin

janin seiring bertambahnya usia kehamilan, umumnya sebelum memasuki trimester kedua.

b. Hemoglobin Fetal (HbF)

Hemoglobin fetal (HbF) adalah hemoglobin utama yang terdapat selama kehidupan intrauterin dan pada periode awal setelah kelahiran. HbF memiliki struktur yang terdiri atas dua rantai alfa (α) dan dua rantai gamma (γ) ($\alpha_2\gamma_2$). Sintesis HbF dimulai sejak sekitar minggu kelima masa gestasi setelah sel punca hematopoietik bermigrasi dari *yolk sac* ke hepar, yang menjadi organ utama pembentukan sel darah pada fase tersebut. Saat lahir, HbF masih menyusun sekitar 60–80% dari total hemoglobin. Selanjutnya, kadar HbF akan berkurang secara bertahap dalam beberapa bulan pertama kehidupan dan digantikan oleh hemoglobin dewasa (HbA) sebagai bentuk hemoglobin yang dominan.

c. Hemoglobin Adult (HbA)

Hemoglobin A (HbA) merupakan bentuk hemoglobin utama pada individu dewasa dan menyusun sekitar 95–98% dari total hemoglobin. Struktur HbA terdiri atas dua rantai alfa (α) dan dua rantai beta (β) ($\alpha_2\beta_2$). Selain HbA, terdapat hemoglobin A₂ (HbA₂) yang jumlahnya relatif sedikit, yaitu sekitar 2–3% dari total hemoglobin. HbA₂ tersusun atas dua rantai alfa (α) dan dua rantai delta (δ) ($\alpha_2\delta_2$), dan mulai disintesis pada akhir masa janin, kemudian meningkat secara bertahap hingga mencapai kadar normal pada masa kanak-kanak dan dewasa.

D. Pemeriksaan Hemoglobin

1. POCT

Prinsip pemeriksaan :

pengukuran kadar hemoglobin secara fotometrik atau biosensor, dimana hemoglobin dalam darah bereaksi dengan reagen yang terdapat pada strip atau mikrokuvet. Reaksi tersebut menghasilkan sinyal optik atau elektrik yang sebanding dengan konsentrasi hemoglobin dan selanjutnya dikonversi oleh alat menjadi nilai kadar hemoglobin yang ditampilkan secara digital (Dacie *et al.*, 2017).

Prosedur pemeriksaan :

Responden diminta untuk duduk dengan posisi nyaman. Petugas mencuci tangan dan menggunakan sarung tangan. Ujung jari responden dibersihkan menggunakan kapas alkohol 70% dan dibiarkan hingga kering. Setelah itu dilakukan penusukan pada ujung jari menggunakan lancet steril. Tetesan darah pertama dibuang, kemudian darah berikutnya ditampung ke dalam strip atau mikrokuvet hingga terisi sempurna. Strip atau mikrokuvet dimasukkan ke dalam alat POCT, kemudian alat akan memproses sampel dan menampilkan hasil kadar hemoglobin pada layar dalam satuan g/dL. Hasil pemeriksaan dicatat dan limbah dibuang sesuai prosedur keselamatan kerja.

Kelebihan metode POCT :

a. Praktis dan Portabel

Point of Care Testing (POCT) merupakan metode pemeriksaan yang dapat dilakukan secara langsung di lokasi pelayanan pasien tanpa memerlukan

fasilitas laboratorium yang lengkap. Keunggulan tersebut menjadikan POCT sangat sesuai digunakan pada pelayanan kesehatan primer, seperti puskesmas, maupun di daerah terpencil yang memiliki keterbatasan sarana dan prasarana laboratorium. POCT bersifat portabel, mudah dibawa, dan memerlukan sedikit peralatan.

b. Cepat Memberikan Hasil

Salah satu keuntungan utama POCT adalah hasil pengukuran kadar hemoglobin dapat diperoleh hampir secara instan, sehingga membantu penanganan cepat, terutama pada skrining anemia atau pemeriksaan skrining dasar.

c. Efisien dan Hemat Sumber Daya

POCT sering kali memerlukan volume sampel darah lebih sedikit dibandingkan dengan hematology analyzer konvensional, yang meminimalkan kebutuhan darah yang diambil dan bisa mengurangi ketidaknyamanan responden.

d. Biaya Awal Relatif Lebih Rendah

Peralatan POCT biasanya lebih murah dibandingkan dengan hematology analyzer besar, sehingga lebih terjangkau untuk fasilitas pelayanan tingkat dasar.

Kekurangan metode POCT :

a. Kualitas Kontrol & Akurasi Lebih Rendah

POCT memiliki akurasi dan presisi yang lebih rendah dibandingkan pemeriksaan dengan hematology analyzer laboratorium standar. Ini terutama terlihat pada perbedaan nilai hemoglobin yang dihasilkan.

b. Masih Perlu Konfirmasi dengan Metode Laboratorium

Hasil POCT harus dikonfirmasi ulang dengan metode laboratorium seperti cyanmethemoglobin atau hematology analyzer yang merupakan standar baku, terutama jika hasilnya mempengaruhi keputusan klinis penting.

c. Sensitivitas & Spesifisitas Variatif

Beberapa alat POCT menunjukkan sensitivitas atau spesifisitas yang bervariasi tergantung tipe alat yang digunakan (misalnya hemoglobinometer invasif vs non-invasif). Alat non-invasif mampu memberikan spesifisitas lebih tinggi namun sensitivitasnya lebih rendah dibanding metode invasif atau hematology analyzer (Fauzi *et al.*, 2024).

2. Hematology analyzer

Prinsip Pemeriksaan :

sel darah merah (eritrosit) akan dilisis atau dipecah oleh reagen khusus sehingga hemoglobin di dalamnya dilepaskan. Hemoglobin yang telah dilepaskan kemudian bereaksi dengan reagen kimia, biasanya membentuk senyawa cyanmethemoglobin atau azidemethemoglobin yang memiliki warna spesifik. Intensitas warna yang dihasilkan akan dibaca oleh sistem optik alat menggunakan sinar dengan panjang gelombang tertentu, dan hasil

pembacaan tersebut dikonversi secara otomatis menjadi nilai konsentrasi hemoglobin dalam satuan gram per desiliter (g/dL).

Prosedur pemeriksaan :

Darah responden yang telah diambil menggunakan tabung EDTA dihomogenkan, klik “new sampel” pada alat hematology analyzer, scan barcode atau masukan identitas pada alat kemudian klik “ok”, masukan darah melalui jarum penghisap pada alat hematology analyzer, tunggu hingga hasilnya keluar pada layar dan komputer utama.

Kelebihan metode Hematology Analyzer :

a. Akurasi dan Presisi Tinggi

Pemeriksaan hemoglobin menggunakan hematology analyzer menunjukkan tingkat akurasi sangat baik, termasuk nilai bias dan koefisien variasi yang rendah pada kontrol kualitas laboratorium, serta hasil yang konsisten pada pemeriksaan rutin seperti hemoglobin dan parameter darah lengkap lainnya.

b. Multi-Parameter

Hematology analyzer dapat mengukur beragam parameter hematology sekaligus dalam satu pemeriksaan, termasuk hitung eritrosit, leukosit, trombosit, hematokrit, serta indeks sel darah merah selain hemoglobin, sehingga mendukung penegakan diagnosis yang lebih komprehensif dibanding metode yang hanya satu parameter.

c. Efisiensi

meminimalkan pekerjaan manual dalam proses hitung sel darah dan memungkinkan pemeriksaan banyak sampel dalam waktu singkat.

Kekurangan metode Hematology Analyzer :

a. Biaya Investasi dan Operasional yang Tinggi

Hematology analyzer memerlukan biaya pembelian alat, perawatan, dan reagen yang relatif tinggi, sehingga tidak selalu tersedia di fasilitas layanan kesehatan tingkat primer atau daerah dengan sumber daya terbatas.

b. Terbatasan dalam Identifikasi Sel Abnormal

Hematology analyzer sangat baik dalam hitung sel otomatis, namun alat ini terkadang tidak mampu mengidentifikasi atau mengklasifikasi sel darah yang abnormal secara morfologis, dan hasilnya harus dikonfirmasi dengan mikroskop.

c. Ketergantungan Teknologi & Kebutuhan Listrik

Hematology analyzer bergantung pada pasokan listrik yang stabil dan dukungan teknis, sehingga kurang ideal di fasilitas dengan infrastruktur terbatas.

d. Perlunya Kontrol Kualitas dan Kalibrasi Rutin

Hematology analyzer membutuhkan pengendalian mutu internal dan kalibrasi rutin oleh tenaga terlatih, yang dapat menjadi tantangan bagi laboratorium kecil atau satuan pelayanan yang belum memiliki sumber daya terampil (Daves *et al.*, 2024).

3. Metode cyanmenthemoglobin

Prinsip Pemeriksaan :

Ferri sianida dalam larutan drabkins akan mengubah besi hemoglobin dari bentuk fero menjadi sianmethemoglobin yang berwarna stabil. Intensitas warna diukur pada fotometer dengan Panjang gelombang 546nm.

Hemoglobin dalam darah diubah menjadi sianmethemoglobin (hemoglobinsianida) melalui reaksi kimia dalam larutan yang mengandung kalium ferisianida dan kalium sianida. Selanjutnya, larutan hasil reaksi tersebut diukur tingkat absorbansinya pada panjang gelombang 540 nm menggunakan filter hijau. Reagen Drabkin yang digunakan dalam metode ini berfungsi mengubah berbagai bentuk hemoglobin seperti hemoglobin, oksihemoglobin, methemoglobin, dan karboksihemoglobin menjadi sianmethemoglobin. Namun, sulfhemoglobin tidak mengalami perubahan sehingga tidak terukur dalam hasil akhir.

Prosedur pemeriksaan :

Sebanyak 5,0 mL reagen Drabkin dimasukkan ke dalam tabung reaksi. Kemudian ditambahkan 20 μ L darah sampel ke dalam tabung tersebut. Campuran dihomogenkan secara perlahan dan dibiarkan pada suhu kamar selama 5–10 menit agar reaksi pembentukan cyanmethemoglobin berlangsung sempurna. Setelah inkubasi, larutan diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 540 nm dengan larutan blanko reagen Drabkin. Nilai absorbansi yang diperoleh dibandingkan

dengan larutan standar atau kurva standar hemoglobin untuk menentukan kadar hemoglobin sampel dalam satuan g/dL.

Metode sianmethemoglobin ini dianggap sangat akurat untuk digunakan di laboratorium karena standar sianmethemoglobin memiliki kestabilan yang tinggi dan tersedia secara komersial. Oleh karena itu, metode ini direkomendasikan untuk penentuan kadar hemoglobin secara teliti dengan tingkat ketelitian mencapai sekitar $\pm 2\%$.

Kelebihan Metode Cyanmethemoglobin :

a. Akurasi dan Reliabilitas Tinggi

Metode cyanmethemoglobin dikenal sebagai standar emas (gold standar) dalam pengukuran kadar hemoglobin, karena dapat mengubah bentuk hemoglobin (oxyhemoglobin, methemoglobin, dan karboksihemoglobin) menjadi cyanmethemoglobin yang stabil sehingga mendapatkan hasil yang akurat dan stabil.

b. Dapat Mengukur Semua Bentuk Hemoglobin Utama.

Reagen Drabkin menghasilkan bentuk cyanmethemoglobin dari berbagai bentuk hemoglobin utama, metode ini memberikan estimasi total hemoglobin yang lengkap dalam sampel darah.

c. Direkomendasikan Standar Internasional

International Committee for Standardization in Haematology (ICSH) merekomendasikan penggunaan metode cyanmethemoglobin sebagai teknik laboratoris utama untuk menentukan kadar hemoglobin karena stabilitas hasil dan standar pengukuran yang baku.

Kekurangan Metode Cyanmethemoglobin :

a. Membutuhkan Peralatan Laboratorium Lengkap

Pemeriksaan ini memerlukan spektrofotometer atau fotometer untuk membaca absorbansi larutan pada panjang gelombang tertentu (*mis. 540 nm*) sehingga tidak dapat dilakukan di luar laboratorium lengkap tanpa alat tersebut.

b. Prosedur Manual Rumit dan Memerlukan Keahlian

Teknik ini melibatkan pencampuran reagen dan sampel darah secara tepat dengan pengambilan volume yang akurat, sehingga dibutuhkan keterampilan teknis untuk menghindari kesalahan operasional.

c. Waktu Operasional Relatif Lebih Lama

Karena langkah-langkah laboratorium yang harus dilakukan secara manual dan menunggu larutan bereaksi menjadi cyanmethemoglobin, metode ini lebih memakan waktu dibanding pemeriksaan populer seperti POCT atau metode digital.

d. Penggunaan Bahan Kimia Beracun

Reagen Drabkin yang digunakan mengandung sianida (KCN), sehingga perlu penanganan yang hati-hati dan prosedur keselamatan laboratorium yang ketat untuk mencegah paparan zat toksik (Aisyah, 2025).

4. Metode Sahli

Prinsip pemeriksaan :

pembentukan asam hematin (acid hematin) dari hemoglobin yang terdapat dalam darah. Pada metode ini, darah kapiler atau vena direaksikan dengan

asam klorida (HCl) 0,1 N, sehingga hemoglobin akan diubah menjadi asam hematin yang berwarna coklat tua. Intensitas warna asam hematin yang terbentuk sebanding dengan kadar hemoglobin dalam sampel darah. Selanjutnya, larutan tersebut diencerkan secara bertahap dengan air suling hingga warna larutan menyerupai warna standar pada tabung Sahli. Kadar hemoglobin kemudian ditentukan dengan membaca skala yang tertera pada tabung Sahli sesuai dengan tingkat kesesuaian warna

Prosedur pemeriksaan :

isi tabung Sahli dengan asam klorida (HCl) 0,1 N hingga tanda skala terendah. Selanjutnya, darah kapiler atau vena diambil menggunakan pipet Sahli sebanyak 20 μ L, kemudian darah tersebut dimasukkan ke dalam tabung yang telah berisi HCl. Campuran darah dan HCl diaduk perlahan menggunakan batang pengaduk dan dibiarkan selama 5–10 menit agar hemoglobin bereaksi sempurna membentuk asam hematin yang berwarna coklat. Setelah reaksi selesai, air suling ditambahkan sedikit demi sedikit sambil diaduk hingga warna larutan menyerupai warna standar pembanding pada hemoglobinometer Sahli. Apabila warna larutan telah sesuai, kadar hemoglobin dibaca pada skala tabung Sahli dan dinyatakan dalam satuan gram per desiliter (g/dL).

Kelebihan Metode Cyanmethemoglobin :

a. Sederhana dan mudah dilakukan

Metode Sahli termasuk pemeriksaan hemoglobin yang sederhana dan tidak memerlukan peralatan canggih sehingga mudah dipelajari dan dilakukan oleh tenaga kesehatan dasar di fasilitas pelayanan primer.

b. Cepat dan praktis

Pemeriksaan dapat diselesaikan dalam waktu relatif singkat ($\pm \leq 15$ menit), memungkinkan hasil cepat untuk skrining dasar anemia.

c. Biaya rendah

Reagen dan alat yang digunakan dalam metode Sahli mudah didapat serta relatif murah, sehingga metode ini ekonomis untuk digunakan di fasilitas dengan sumber daya terbatas seperti puskesmas atau posyandu.

d. Tidak membutuhkan listrik atau peralatan besar

Metode ini tidak membutuhkan listrik atau peralatan laboratorium besar, sehingga cocok untuk layanan kesehatan primer atau daerah terpencil.

Kekurangan Metode Cyanmethemoglobin :

a. Akurasi dan presisi rendah

b. Bergantung pada pengamatan visual

c. Tidak mengukur semua tipe hemoglobin

Metode ini hanya mengestimasi hemoglobin yang bereaksi menjadi acid hematin (seperti oxyhemoglobin dan reduced hemoglobin). Bentuk hemoglobin lain seperti carboxyhemoglobin, methemoglobin, dan

sulfhemoglobin tidak terukur, sehingga total hemoglobin yang diukur tidak mencerminkan profil lengkap hemoglobin.

d. Tidak cocok untuk beberapa kelompok usia

Hemoglobin fetal (HbF), yang dominan pada neonatus, tidak dikonversi oleh metode Sahli menjadi acid hematin, sehingga metode ini tidak ideal untuk mengukur kadar hemoglobin pada bayi di bawah usia tertentu (misalnya kurang dari 3 bulan) (Chaubey *et al.*, 2025).

E. Hubungan Hemoglobin dengan Stunting

Hemoglobin berperan penting dalam menjaga suplai oksigen ke seluruh jaringan tubuh. Oksigen yang dibawa oleh hemoglobin sangat dibutuhkan untuk proses metabolisme dan pertumbuhan sel, termasuk sel-sel yang berperan dalam perkembangan jaringan tubuh anak. Kekurangan hemoglobin akan menyebabkan penurunan kapasitas darah dalam mengangkut oksigen, sehingga jaringan tubuh mengalami hipoksia atau kekurangan oksigen sehingga dapat memperlambat pertumbuhan (Mulyani *et al.*, 2025).

Kadar hemoglobin yang rendah, atau kondisi anemia, sering kali disebabkan oleh kekurangan zat besi, protein, dan vitamin yang berperan dalam pembentukan sel darah merah. Anemia pada anak menyebabkan gangguan pada fungsi metabolisme dan penurunan energi yang dibutuhkan untuk pertumbuhan optimal. Anak dengan anemia cenderung mengalami keterlambatan perkembangan fisik dan kognitif karena suplai oksigen ke otak dan jaringan tubuh tidak mencukupi (Alhazmi, 2025).

Berdasarkan beberapa penelitian sebelumnya seperti penelitian dengan judul “Hubungan Kadar Hemoglobin Dengan Pertumbuhan Pada Balita Stunting Dan Wasting” yang dilakukan oleh Hestiasih *et al.* (2022) dilakukan pemeriksaan kadar hemoglobin pada 25 balita stunting dan didapatkan keseluruhan sampel didapatkan kadar hemoglobin normal (100%). Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Hasnawati *et al.* (2024) dengan judul “Hubungan Kadar Hemoglobin dengan Kejadian Stunting Pada Anak di Wilayah Kerja Puskesmas Antang Kota Makassar” didapatkan 100% kadar hemoglobin yang normal pada 15 sampel anak *stunting*. Sedangkan penelitian yang dilakukan oleh Frigandara *et al.* (2020) pada balita stunting di Lampung Tengah didapatkan 50,3% balita stunting mengalami anemia atau kadar hemoglobin yang rendah, dimana hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Sania Malo (2021) dengan judul “Perbandingan Kadar Hemoglobin Pada Balita Stunting dan Non-Stunting Di Desa Tunfeu Kecamatan Nekamese Kabupaten Kupang” didapatkan 66,7% balita stunting dengan kadar hemoglobin yang rendah dan hasil penelitian yang sama juga didapatkan oleh Beatrice (2024) yang dilakukan di Desa Penfui Timur Kecamatan Kupang Tengah Kabupaten Kupang didapatkan hemoglobin rendah pada balita stunting sebanyak 61,29% sebanyak 19 sampel. Oleh karena itu, kadar hemoglobin yang cukup menjadi salah satu faktor penting dalam mencegah stunting, di samping kecukupan gizi, sanitasi, dan perawatan kesehatan yang baik.