

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Anemia

2.1.1 Definisi Anemia

Anemia merupakan kondisi yang ditandai dengan menurunnya kadar hemoglobin (Hb), jumlah eritrosit, atau nilai hematokrit di bawah batas normal sehingga kemampuan darah dalam mengangkut oksigen ke jaringan tubuh menjadi berkurang. Hemoglobin merupakan protein utama dalam eritrosit yang berfungsi mengikat dan mengangkut oksigen dari paru-paru ke seluruh jaringan tubuh. Oleh karena itu, penurunan kadar hemoglobin dapat menyebabkan berkurangnya suplai oksigen ke sel dan jaringan tubuh (World Health Organization, 2021; Hoffbrand et al., 2024).

Secara umum, anemia dapat terjadi akibat penurunan produksi eritrosit, peningkatan penghancuran eritrosit (hemolisis), atau kehilangan darah. Kondisi tersebut menyebabkan berkurangnya kapasitas pengangkutan oksigen sehingga dapat menimbulkan berbagai gangguan kesehatan apabila tidak ditangani dengan baik (Greer et al., 2023).

Dalam bidang hematologi, anemia merupakan salah satu kondisi yang paling sering ditemukan dan umumnya ditegakkan melalui pemeriksaan kadar hemoglobin. Selain hemoglobin, evaluasi anemia dapat didukung oleh pemeriksaan eritrosit dan indeks eritrosit untuk membantu menggambarkan karakteristik anemia secara lebih lengkap (McKenzie & Williams, 2020; Bain et al., 2021).

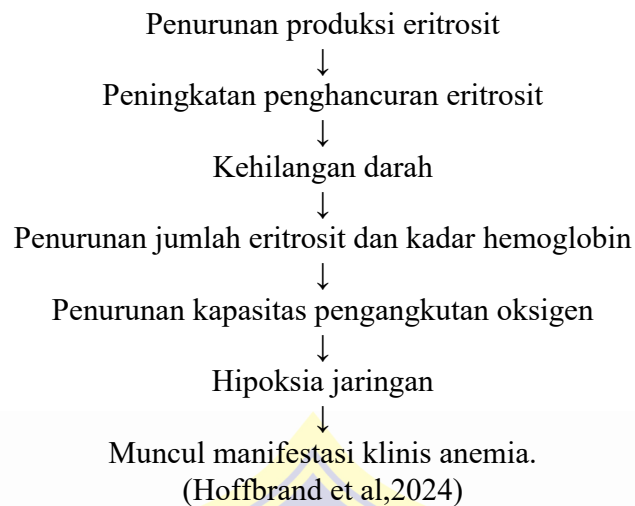
2.1.2 Patofisiologi Anemia

Patofisiologi anemia berkaitan dengan penurunan kadar hemoglobin, jumlah eritrosit, atau massa eritrosit dalam sirkulasi darah sehingga kemampuan darah dalam mengangkut oksigen ke jaringan tubuh menjadi berkurang. Kondisi tersebut menyebabkan hipoksia jaringan dan memicu berbagai mekanisme kompensasi untuk mempertahankan suplai oksigen ke organ-organ vital (Hoffbrand et al., 2024).

Secara umum, anemia dapat terjadi melalui tiga mekanisme utama, yaitu penurunan produksi eritrosit, peningkatan penghancuran eritrosit (hemolisis), dan kehilangan darah. Penurunan produksi eritrosit dapat disebabkan oleh kekurangan zat besi, vitamin B12, atau asam folat, sedangkan hemolisis dan perdarahan menyebabkan berkurangnya jumlah eritrosit dalam sirkulasi darah (Camaschella, 2021).

Penurunan jumlah eritrosit dan kadar hemoglobin menyebabkan kapasitas pengangkutan oksigen darah menurun sehingga jaringan mengalami hipoksia. Kondisi ini dapat menimbulkan berbagai manifestasi klinis seperti pucat, lemah, mudah lelah, pusing, dan sesak napas. Pada anak, anemia yang berlangsung dalam jangka panjang dapat memengaruhi pertumbuhan, perkembangan, dan kemampuan belajar (Kliegman et al., 2024).

Secara skematis, mekanisme terjadinya anemia dapat digambarkan sebagai berikut:



Berdasarkan uraian tersebut, dapat dipahami bahwa anemia merupakan kondisi yang dapat terjadi melalui berbagai mekanisme yang pada akhirnya menyebabkan berkurangnya kapasitas darah dalam mengangkut oksigen. Pemahaman mengenai patofisiologi anemia sangat penting karena menjadi dasar dalam menentukan penyebab, karakteristik laboratorium, serta pendekatan diagnosis dan penatalaksanaan yang tepat.

2.1.3 Klasifikasi Anemia

Anemia dapat diklasifikasikan berdasarkan beberapa pendekatan, antara lain berdasarkan morfologi eritrosit, etiologi, dan derajat keparahan. Klasifikasi anemia sangat penting dalam praktik klinis maupun laboratorium karena dapat membantu menentukan penyebab anemia, mempermudah interpretasi hasil pemeriksaan hematologi, serta mendukung penentuan penatalaksanaan yang tepat. Pemeriksaan hemoglobin dan indeks eritrosit memiliki peran penting dalam membantu klasifikasi anemia, terutama berdasarkan karakteristik morfologi eritrosit (Bain et al., 2021).

2.1.3.1. Klasifikasi Anemia Berdasarkan Morfologi Eritrosit

Klasifikasi morfologi dilakukan berdasarkan ukuran eritrosit dan kandungan hemoglobin di dalam eritrosit yang dinilai melalui parameter indeks eritrosit, terutama Mean Corpuscular Volume (MCV) dan Mean Corpuscular Hemoglobin Concentration (MCHC). Berdasarkan morfologinya, anemia dibedakan menjadi anemia mikrositik hipokrom, anemia normositik normokrom, dan anemia makrositik (Rodak et al., 2020).

1. Anemia Mikrositik Hipokrom

Anemia mikrositik hipokrom merupakan anemia yang ditandai dengan ukuran eritrosit lebih kecil dari normal serta warna eritrosit tampak lebih pucat akibat rendahnya kandungan hemoglobin. Pada pemeriksaan laboratorium, kondisi ini umumnya ditandai dengan penurunan nilai MCV, MCH, dan MCHC. Anemia mikrositik hipokrom paling sering ditemukan pada anemia defisiensi besi dan thalassemia (Brugnara, 2013).

2. Anemia Normositik Normokrom

Anemia normositik normokrom merupakan anemia yang ditandai dengan ukuran eritrosit dan kandungan hemoglobin yang masih berada dalam batas normal, tetapi jumlah eritrosit atau kadar hemoglobin mengalami penurunan. Pada kondisi ini nilai MCV dan MCHC umumnya masih berada dalam rentang normal (Bain et al., 2021).

3. Anemia Makrositik

Anemia makrositik merupakan anemia yang ditandai dengan ukuran eritrosit lebih besar dibandingkan normal. Kondisi ini ditunjukkan oleh peningkatan nilai MCV di atas nilai rujukan normal. Anemia makrositik umumnya terjadi akibat

gangguan sintesis DNA selama proses pematangan eritrosit di sumsum tulang sehingga menghasilkan eritrosit berukuran besar yang tidak matang sempurna (Hoffbrand et al., 2024).

Tabel 2.1 Klasifikasi Anemia Berdasarkan Morfologi

Jenis Anemia	Karakteristik Eritrosit	Gambaran Laboratorium
Mikrositik hipokrom	Eritrosit kecil dan pucat	MCV ↓, MCH ↓, MCHC ↓
Normositik normokrom	Eritrosit normal	MCV normal, MCHC normal
Makrositik	Eritrosit besar	MCV ↑

Sumber: Bain et al. (2021); Rodak et al. (2020).

2.1.3.2. Klasifikasi Anemia Berdasarkan Etiologi

Berdasarkan penyebabnya, anemia dapat dibedakan menjadi beberapa kelompok utama, yaitu anemia akibat gangguan produksi eritrosit, anemia akibat kehilangan darah, dan anemia akibat peningkatan penghancuran eritrosit (hemolisis) (Kaushansky et al., 2022).

1. Anemia Defisiensi Besi

Anemia defisiensi besi merupakan jenis anemia yang paling sering ditemukan di seluruh dunia. Kondisi ini terjadi akibat berkurangnya cadangan zat besi tubuh sehingga sintesis hemoglobin terganggu. Akibatnya, eritrosit yang dihasilkan memiliki ukuran lebih kecil dan kandungan hemoglobin yang lebih rendah dibandingkan normal (Camaschella, 2021).

2. Anemia Megaloblastik

Anemia megaloblastik disebabkan oleh kekurangan vitamin B12 atau asam folat yang menghambat sintesis DNA selama proses pembentukan eritrosit. Gangguan tersebut menyebabkan terbentuknya eritrosit berukuran besar yang tidak matang sempurna (Hoffbrand et al., 2024).

3. Anemia Hemolitik

Anemia hemolitik terjadi akibat penghancuran eritrosit yang berlangsung lebih cepat dibandingkan proses pembentukannya. Penyebabnya dapat berupa kelainan genetik, gangguan autoimun, infeksi, maupun faktor lainnya yang menyebabkan eritrosit mengalami kerusakan dini (Greer et al., 2023).

4. Anemia Aplastik

Anemia aplastik merupakan kondisi ketika sumsum tulang mengalami kegagalan dalam memproduksi sel darah sehingga jumlah eritrosit, leukosit, dan trombosit mengalami penurunan. Kondisi ini tergolong serius dan memerlukan penanganan khusus (Nathan et al., 2021).

5. Anemia Penyakit Kronis

Anemia penyakit kronis terjadi akibat gangguan metabolisme zat besi dan penurunan respons eritropoietin yang berhubungan dengan penyakit inflamasi atau infeksi kronis. Jenis anemia ini sering ditemukan pada pasien dengan penyakit kronis yang berlangsung dalam jangka panjang (Kaushansky et al., 2022).

2.1.3.3. Klasifikasi Anemia Berdasarkan Derajat Keparahan

Selain berdasarkan morfologi dan etiologi, anemia juga dapat diklasifikasikan berdasarkan tingkat keparahannya. Organisasi Kesehatan Dunia (WHO) mengelompokkan anemia menjadi anemia ringan, anemia sedang, dan anemia berat berdasarkan kadar hemoglobin yang ditemukan pada pemeriksaan laboratorium (WHO, 2021).

Ringan	Sedikit di bawah nilai normal
Sedang	Menurun sedang
Berat	Menurun jauh di bawah nilai normal

Sumber: WHO (2021).

2.1.4 Manifestasi Klinis Anemia

Secara umum, penderita anemia dapat mengalami pucat, mudah lelah, lemah, lesu, pusing, sakit kepala, serta penurunan toleransi terhadap aktivitas fisik akibat berkurangnya suplai oksigen ke jaringan tubuh (Hoffbrand et al., 2024).

12

Pada anak, anemia dapat memengaruhi pertumbuhan, aktivitas fisik, kemampuan konsentrasi, dan prestasi belajar apabila berlangsung dalam jangka waktu lama. Oleh karena itu, deteksi dini anemia penting dilakukan untuk mencegah dampak yang lebih lanjut terhadap tumbuh kembang anak (Kliegman et al., 2024).

Tabel 2.3 Manifestasi Klinis Anemia

Sistem Tubuh	Manifestasi Klinis
Umum	Lemah, letih, lesu, mudah lelah
Kulit dan mukosa	Pucat pada kulit, konjungtiva, dan mukosa
Sistem saraf	Pusing, sakit kepala, penurunan konsentrasi
Sistem kardiovaskular	Takikardia, palpitasi, peningkatan curah jantung
Sistem respirasi	Sesak napas, peningkatan frekuensi napas
Anak-anak	Gangguan pertumbuhan, penurunan prestasi belajar

Sumber: Kliegman et al. (2024); Hoffbrand et al. (2024); Rodak et al. (2020).

Berdasarkan uraian tersebut, manifestasi klinis anemia sangat bervariasi dan dipengaruhi oleh tingkat keparahan serta penyebab anemia yang mendasarinya. Meskipun demikian, sebagian besar gejala muncul akibat berkurangnya kemampuan darah dalam mengangkut oksigen ke jaringan tubuh sehingga menyebabkan hipoksia jaringan dan gangguan fungsi organ.

2.1.5 Diagnosis Anemia

Diagnosis anemia dilakukan melalui pemeriksaan klinis dan laboratorium. Pemeriksaan laboratorium menjadi metode utama dalam menegakkan diagnosis anemia karena mampu memberikan gambaran kondisi hematologis pasien secara objektif. Parameter yang paling sering digunakan adalah kadar hemoglobin (Hb),

yang menjadi dasar dalam menentukan status anemia sesuai nilai rujukan berdasarkan usia dan jenis kelamin (WHO, 2021).

Selain hemoglobin, pemeriksaan hematologi rutin juga meliputi jumlah eritrosit dan hematokrit untuk membantu menggambarkan kondisi sel darah merah. Dalam praktik laboratorium, diagnosis anemia semakin didukung oleh pemeriksaan indeks eritrosit yang meliputi Mean Corpuscular Volume (MCV), Mean Corpuscular Hemoglobin (MCH), dan Mean Corpuscular Hemoglobin Concentration (MCHC). Parameter tersebut digunakan untuk membantu menentukan karakteristik anemia berdasarkan ukuran eritrosit dan kandungan hemoglobin di dalam eritrosit (Bain et al., 2021; Rodak et al., 2020).

Pemeriksaan apusan darah tepi dapat digunakan sebagai pemeriksaan penunjang untuk menilai morfologi eritrosit secara langsung. Dengan demikian, diagnosis anemia tidak hanya ditentukan berdasarkan kadar hemoglobin, tetapi juga didukung oleh pemeriksaan eritrosit dan indeks eritrosit untuk membantu interpretasi hasil laboratorium secara lebih komprehensif (Greer et al., 2023).

Tabel 2.4 Pemeriksaan yang Digunakan dalam Diagnosis Anemia

Pemeriksaan	Fungsi
Hemoglobin (Hb)	Menentukan status anemia
Jumlah eritrosit	Mengetahui jumlah sel darah merah
Hematokrit (Ht)	Mengetahui proporsi eritrosit dalam darah
MCV	Menentukan ukuran rata-rata eritrosit
MCH	Menentukan jumlah hemoglobin dalam eritrosit
MCHC	Menentukan konsentrasi hemoglobin dalam eritrosit
Apusan darah tepi	Menilai morfologi eritrosit

Sumber: Bain et al. (2021); Rodak et al. (2020).

Berdasarkan uraian tersebut, diagnosis anemia tidak hanya dilakukan melalui identifikasi gejala klinis, tetapi juga memerlukan pemeriksaan laboratorium yang komprehensif. Pemeriksaan hemoglobin tetap menjadi parameter utama dalam penentuan status anemia, sedangkan pemeriksaan eritrosit dan indeks eritrosit

berperan dalam membantu menentukan karakteristik anemia serta mendukung interpretasi hasil pemeriksaan secara lebih menyeluruh.

2.2. Anemia pada Anak

2.2.1 Definisi Anemia

Anemia pada anak merupakan kondisi ketika kadar hemoglobin berada di bawah nilai normal sesuai kelompok usia sehingga kemampuan darah dalam mengangkut oksigen ke jaringan tubuh menjadi berkurang. Hemoglobin berperan penting dalam transportasi oksigen dari paru-paru ke seluruh jaringan tubuh, sehingga penurunan kadar hemoglobin dapat mengganggu berbagai proses metabolisme dan fungsi organ tubuh (Timan & Aryati, 2022; Kliegman et al., 2024).

Anemia merupakan salah satu kelainan hematologi yang sering ditemukan pada anak. Pada masa pertumbuhan, kebutuhan zat besi dan nutrisi lain meningkat untuk mendukung pembentukan hemoglobin dan eritrosit, sehingga anak lebih rentan mengalami anemia apabila kebutuhan tersebut tidak terpenuhi. Selain itu, infeksi, perdarahan, dan kelainan genetik tertentu juga dapat berkontribusi terhadap terjadinya anemia pada anak (Pasricha et al., 2021; Rodak et al., 2020).

Dalam praktik laboratorium, anemia pada anak umumnya diidentifikasi melalui pemeriksaan kadar hemoglobin yang didukung oleh pemeriksaan indeks eritrosit seperti Mean Corpuscular Volume (MCV), Mean Corpuscular Hemoglobin (MCH), dan Mean Corpuscular Hemoglobin Concentration (MCHC). Pemeriksaan tersebut membantu menggambarkan karakteristik anemia dan kondisi eritrosit secara lebih lengkap (Bain et al., 2021).

2.2.2 Batasan Anemia pada Anak

Batasan anemia pada anak ditentukan berdasarkan kadar hemoglobin (Hb) yang disesuaikan dengan kelompok usia. Perbedaan nilai rujukan tersebut berkaitan dengan perubahan fisiologis selama masa pertumbuhan dan perkembangan anak, sehingga penilaian status anemia tidak dapat disamakan dengan orang dewasa (Timan & Aryati, 2022).

Menurut World Health Organization (WHO), anak usia 6–59 bulan dikategorikan anemia apabila memiliki kadar Hb <11 g/dL, sedangkan anak usia 5–12 tahun dikategorikan anemia apabila memiliki kadar Hb <11,5 g/dL. Nilai tersebut digunakan sebagai acuan dalam menentukan status anemia pada anak dan interpretasi hasil pemeriksaan laboratorium (WHO, 2021).

Tabel 2.5 Kriteria Anemia Berdasarkan Kadar Hemoglobin pada Anak

Kelompok Usia	Kadar Hb
6–59 bulan	<11 g/dL
5–12 tahun	<11,5 g/dL

Sumber: WHO (2021)

2.2.3 Penyebab Anemia pada Anak

Anemia pada anak dapat disebabkan oleh berbagai faktor yang memengaruhi pembentukan eritrosit dan hemoglobin. Penyebab anemia pada anak umumnya berkaitan dengan status gizi, penyakit infeksi, perdarahan, maupun kelainan genetik tertentu (Kliegman et al., 2024).

Defisiensi zat besi merupakan penyebab anemia yang paling sering ditemukan pada anak. Kebutuhan zat besi yang meningkat selama masa pertumbuhan menyebabkan anak lebih rentan mengalami anemia apabila asupan zat besi tidak mencukupi. Selain itu, kekurangan vitamin B12 dan asam folat juga

dapat mengganggu pembentukan eritrosit dan menyebabkan anemia (Pasricha et al., 2021; Rodak et al., 2020).

Anemia pada anak juga dapat disebabkan oleh infeksi kronis, perdarahan, serta kelainan genetik seperti thalassemia yang memengaruhi pembentukan hemoglobin. Oleh karena itu, kejadian anemia pada anak umumnya dipengaruhi oleh berbagai faktor yang saling berkaitan (Nathan et al., 2021; Lanzkowsky et al., 2021).

Tabel 2.6 Penyebab Anemia pada Anak

Penyebab	Keterangan
Defisiensi zat besi	Penurunan pembentukan hemoglobin akibat kekurangan zat besi
Defisiensi vitamin B12 dan asam folat	Gangguan pembentukan eritrosit
Infeksi kronis	Menghambat proses hematopoiesis
Perdarahan	Kehilangan eritrosit dan hemoglobin
Kelainan genetik	Gangguan pembentukan hemoglobin, seperti thalassemia

Sumber: Nathan et al. (2021); Lanzkowsky et al. (2021); Kliegman et al. (2024).

2.2.4 Jenis-Jenis Anemia pada Anak

Anemia pada anak dapat dibedakan menjadi beberapa jenis berdasarkan penyebab dan karakteristik eritrosit yang ditemukan pada pemeriksaan laboratorium. Identifikasi jenis anemia penting dilakukan untuk membantu interpretasi hasil pemeriksaan hemoglobin dan indeks eritrosit (Nathan et al., 2021).

Anemia defisiensi besi merupakan jenis anemia yang paling sering ditemukan pada anak dan umumnya menunjukkan gambaran mikrositik hipokrom dengan nilai MCV dan MCH yang rendah. Selain itu, anemia megaloblastik akibat defisiensi vitamin B12 atau asam folat biasanya menunjukkan gambaran

makrositik dengan peningkatan nilai MCV (Pasricha et al., 2021; Purnami et al. 2023).

Jenis anemia lain yang dapat ditemukan pada anak meliputi anemia hemolitik, anemia penyakit kronis, dan thalassemia. Anemia hemolitik terjadi akibat peningkatan penghancuran eritrosit, sedangkan thalassemia merupakan kelainan genetik yang memengaruhi pembentukan hemoglobin dan sering memberikan gambaran mikrositik hipokrom pada pemeriksaan laboratorium (Suriadi et al. 2025; Hoffbrand et al., 2024).

Tabel 2.7 Jenis-Jenis Anemia pada Anak

Jenis Anemia	Gambaran Umum
---------------------	----------------------

Anemia defisiensi besi	Mikrositik hipokrom
Anemia megaloblastik	Makrositik
Anemia hemolitik	Penghancuran eritrosit meningkat
Anemia penyakit kronis	Gangguan hematopoiesis
Thalassemia	Kelainan pembentukan hemoglobin

Sumber: Nathan et al. (2021); Lanzkowsky et al. (2021).

2.2.5 Dampak Anemia pada Anak

Anemia pada anak dapat memengaruhi kondisi kesehatan, pertumbuhan, dan perkembangan. Penurunan kadar hemoglobin menyebabkan kemampuan darah dalam mengangkut oksigen berkurang sehingga jaringan tubuh tidak memperoleh suplai oksigen secara optimal (Pasricha et al., 2021).

Anak yang mengalami anemia umumnya menunjukkan gejala mudah lelah, lemah, pucat, penurunan aktivitas, serta gangguan konsentrasi dan kemampuan belajar. Selain itu, anemia yang berlangsung dalam jangka panjang dapat mengganggu proses pertumbuhan dan perkembangan karena kebutuhan oksigen jaringan tidak terpenuhi secara optimal (Widjaja et al. 2019)

Selain berdampak pada kondisi fisik, anemia juga dapat memengaruhi aktivitas sosial anak karena berkurangnya kemampuan untuk belajar maupun

berpartisipasi dalam aktivitas sehari-hari. Oleh karena itu, deteksi dini melalui pemeriksaan laboratorium penting dilakukan untuk membantu mengidentifikasi anemia dan mencegah dampak yang lebih lanjut (Nathan et al., 2021; McKenzie & Williams, 2020).

2.2.6 Pemeriksaan Anemia Pada Anak

Pemeriksaan anemia pada anak dilakukan untuk mengetahui kadar hemoglobin dan mengevaluasi kondisi eritrosit sesuai nilai rujukan berdasarkan kelompok usia. Pemeriksaan laboratorium berperan penting dalam menegaskan diagnosis anemia karena manifestasi klinis yang muncul sering kali tidak spesifik (Kliegman et al., 2024).

Pemeriksaan hemoglobin merupakan pemeriksaan utama dalam menentukan status anemia pada anak. Interpretasi hasil pemeriksaan harus disesuaikan dengan kelompok usia karena nilai rujukan hemoglobin pada anak berbeda dengan orang dewasa (WHO, 2021; Timan & Aryati, 2022).

Selain hemoglobin, evaluasi anemia dapat dilengkapi dengan pemeriksaan indeks eritrosit yang meliputi Mean Corpuscular Volume (MCV), Mean Corpuscular Hemoglobin (MCH), dan Mean Corpuscular Hemoglobin Concentration (MCHC). Parameter tersebut membantu menggambarkan ukuran eritrosit dan kandungan hemoglobin di dalam eritrosit sehingga dapat mendukung interpretasi hasil pemeriksaan anemia (Bain et al., 2021).

Pemeriksaan lain seperti jumlah eritrosit, hematokrit, dan apusan darah tepi juga dapat digunakan sebagai pemeriksaan penunjang untuk membantu mengevaluasi karakteristik anemia pada anak. Kombinasi pemeriksaan tersebut memberikan gambaran kondisi hematologis anak secara lebih lengkap (Widjaja et al. 2019)

Tabel 2.8 Pemeriksaan Laboratorium pada Anemia Anak

Pemeriksaan	Tujuan
Hemoglobin	Menentukan status anemia
Eritrosit	Mengetahui jumlah sel darah merah
Hematokrit	Menilai proporsi eritrosit dalam darah
MCV	Menilai ukuran eritrosit
MCH	Menilai jumlah Hb per eritrosit
MCHC	Menilai konsentrasi Hb dalam eritrosit
Apusan darah tepi	Menilai morfologi eritrosit

Sumber: Bain et al. (2021); Rodak et al. (2020).

2.2.7 Penatalaksanaan Anemia pada Anak

Penatalaksanaan anemia pada anak dilakukan berdasarkan penyebab yang mendasarinya dengan tujuan meningkatkan kadar hemoglobin dan memperbaiki kondisi hematologis. Identifikasi penyebab anemia penting dilakukan untuk menentukan terapi yang sesuai (Kliegman et al., 2024).

Pada anemia defisiensi besi, terapi dilakukan melalui suplementasi zat besi dan perbaikan asupan nutrisi. Selain itu, kondisi lain seperti infeksi kronis, gangguan absorpsi nutrisi, maupun penyakit kronis yang mendasari juga perlu ditangani untuk mendukung perbaikan kadar hemoglobin (Camaschella, 2021; Nathan et al., 2021).

Keberhasilan penatalaksanaan dapat dipantau melalui pemeriksaan hemoglobin dan parameter hematologi lainnya. Oleh karena itu, evaluasi laboratorium memiliki peran penting dalam menilai respons terapi pada anak dengan anemia (Bain et al., 2021).

Tabel 2.9 Penatalaksanaan Anemia pada Anak Berdasarkan Penyebab Penyebab Anemia

Penyebab Anemia	Penatalaksanaan
Defisiensi besi	Suplementasi zat besi dan perbaikan nutrisi
Defisiensi vitamin B12/folat	Suplementasi vitamin B12 atau asam folat
Infeksi atau penyakit kronis	Mengatasi penyakit yang mendasari
Thalassemia	Penatalaksanaan sesuai jenis dan derajat penyakit
Anemia berat	Terapi sesuai indikasi medis dan pemantauan ketat

Sumber: Kliegman et al. (2024); Nathan et al. (2021); Lanzkowsky et al. (2021).

2.3. Hemoglobin

2.3.1 Pengertian Hemoglobin

Hemoglobin merupakan protein utama yang terdapat di dalam eritrosit dan memiliki peran penting dalam proses transportasi oksigen dari paru-paru menuju jaringan tubuh serta membantu membawa karbon dioksida kembali ke paru-paru untuk dikeluarkan dari tubuh. Hemoglobin menjadi komponen utama eritrosit yang menentukan kemampuan darah dalam mendistribusikan oksigen ke seluruh jaringan tubuh. Oleh karena itu, kadar hemoglobin sangat berpengaruh terhadap proses metabolisme dan fungsi organ tubuh secara keseluruhan (Rodak et al., 2020).

Hemoglobin tersusun atas dua komponen utama, yaitu heme dan globin. Komponen heme mengandung atom besi (Fe^{2+}) yang berfungsi mengikat oksigen, sedangkan globin merupakan protein penyusun hemoglobin. Ikatan antara oksigen dan hemoglobin bersifat reversibel sehingga memungkinkan oksigen dapat diikat di paru-paru dan dilepaskan kembali di jaringan tubuh sesuai kebutuhan metabolisme sel (Bain et al., 2021).

Pada manusia normal, sebagian besar hemoglobin terdiri atas hemoglobin A (HbA). Selain HbA, terdapat hemoglobin lain seperti HbA2 dan HbF dalam jumlah yang lebih sedikit. Hemoglobin fetal atau HbF umumnya ditemukan pada

bayi dan anak usia dini sebelum secara bertahap digantikan oleh HbA selama proses pertumbuhan dan perkembangan tubuh (Kliegman et al., 2020).

Pembentukan hemoglobin berlangsung bersamaan dengan proses eritropoiesis di sumsum tulang. Proses tersebut memerlukan zat besi, vitamin B12, asam folat, dan protein sebagai komponen utama pembentukan hemoglobin. Kekurangan salah satu komponen tersebut dapat menyebabkan gangguan sintesis hemoglobin sehingga kadar hemoglobin dalam darah menjadi menurun dan memunculkan kondisi anemia (Pasricha et al., 2021).

Dalam pemeriksaan laboratorium, hemoglobin menjadi parameter utama dalam membantu penegakan diagnosis anemia. Pemeriksaan kadar hemoglobin digunakan untuk menentukan apakah kadar hemoglobin berada di bawah nilai normal sesuai kelompok usia. Oleh karena itu, pemeriksaan hemoglobin memiliki peran penting dalam evaluasi kondisi hematologis pasien anak (Timan & Aryati, 2022).

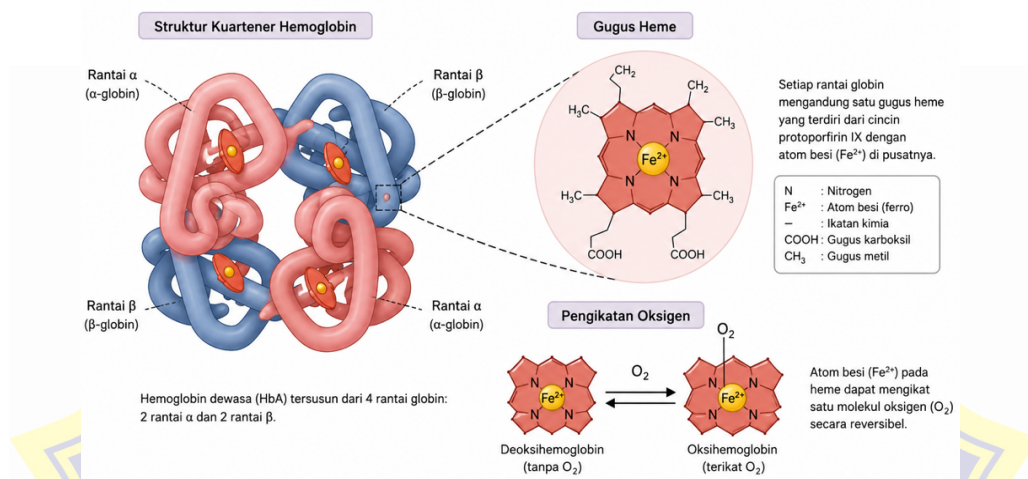
2.3.2 Struktur Hemoglobin

Hemoglobin memiliki struktur yang tersusun atas empat rantai globin dan empat gugus heme. Setiap gugus heme mengandung atom besi (Fe^{2+}) yang berfungsi sebagai tempat pengikatan oksigen sehingga hemoglobin dapat mengangkut oksigen ke seluruh jaringan tubuh (Rodak et al., 2020).

Hemoglobin dewasa normal (HbA) tersusun atas dua rantai alfa dan dua rantai beta. Selain HbA, terdapat hemoglobin A₂ (HbA₂) yang tersusun atas dua rantai alfa dan dua rantai delta, serta hemoglobin fetal (HbF) yang tersusun atas dua rantai alfa dan dua rantai gamma. Perbedaan susunan rantai globin tersebut menghasilkan karakteristik hemoglobin yang berbeda (Bain et al., 2021).

Gangguan pembentukan rantai globin dapat menyebabkan kelainan hematologi seperti thalassemia dan hemoglobinopati lainnya. Kelainan tersebut dapat memengaruhi kadar hemoglobin, bentuk eritrosit, serta kemampuan eritrosit dalam mengangkut oksigen (Kassebaum, 2021).

Gambar 2.1 Struktur Hemoglobin



Sumber: Rodak et al. (2020)

Hemoglobin tersusun atas empat rantai globin dan empat gugus heme yang masing-masing mengandung atom besi (Fe^{2+}) sebagai tempat pengikatan oksigen.

2.3.3 Fungsi Hemoglobin

Hemoglobin memiliki fungsi utama sebagai pengangkut oksigen dari paru-paru menuju jaringan tubuh. Oksigen yang berikatan dengan atom besi (Fe^{2+}) pada hemoglobin akan diedarkan ke seluruh jaringan untuk mendukung proses metabolisme dan produksi energi sel (Sais et al. (2024).

Selain mengangkut oksigen, hemoglobin juga berperan dalam transportasi karbon dioksida dari jaringan menuju paru-paru untuk dikeluarkan melalui proses respirasi. Hemoglobin turut membantu menjaga keseimbangan asam basa darah melalui kemampuannya mengikat ion hidrogen sehingga pH darah tetap stabil (Rodak et al., 2020).

Penurunan kadar hemoglobin dapat mengurangi kemampuan darah dalam mengangkut oksigen sehingga menyebabkan hipoksia jaringan. Pada anak, kondisi tersebut dapat menimbulkan gejala seperti lemah, mudah lelah, pucat, serta mengganggu aktivitas, pertumbuhan, dan perkembangan apabila berlangsung dalam jangka waktu lama (Susanah et al., 2025).

2.3.4 Jenis-Jenis Hemoglobin

Hemoglobin terdiri atas beberapa jenis berdasarkan susunan rantai globin yang dimilikinya. Hemoglobin utama pada manusia dewasa adalah hemoglobin A (HbA) yang tersusun atas dua rantai alfa dan dua rantai beta. HbA merupakan bentuk hemoglobin yang paling banyak ditemukan pada individu normal dewasa (Bain et al., 2021).

Selain HbA, terdapat hemoglobin A₂ (HbA₂) yang tersusun atas dua rantai alfa dan dua rantai delta. HbA₂ ditemukan dalam jumlah kecil pada darah manusia normal dan berfungsi membantu proses transportasi oksigen dalam sirkulasi darah. (Bain et al., 2021).

Hemoglobin fetal atau HbF merupakan hemoglobin utama yang ditemukan selama masa janin dan bayi baru lahir. HbF memiliki kemampuan mengikat oksigen lebih kuat dibandingkan HbA sehingga membantu proses distribusi oksigen selama perkembangan janin di dalam kandungan. Setelah lahir, kadar HbF secara bertahap akan menurun dan digantikan oleh HbA selama masa pertumbuhan anak (Kliegman et al., 2020).

Selain hemoglobin normal, terdapat hemoglobin abnormal yang berkaitan dengan kelainan genetik tertentu seperti thalassemia dan anemia sel sabit. Kelainan tersebut menyebabkan perubahan struktur hemoglobin sehingga

kemampuan eritrosit dalam mengangkut oksigen menjadi terganggu. (Bain et al., 2021).

Tabel 2.10 Jenis-Jenis Hemoglobin

Jenis Hemoglobin	Karakteristik
HbA	Hemoglobin utama pada dewasa
HbA2	Hemoglobin dewasa dalam jumlah kecil
HbF	Dominan pada janin dan bayi baru lahir
Hemoglobin abnormal	Berhubungan dengan kelainan genetik

Sumber: Nathan et al. (2021); Kliegman et al. (2024).

2.3.5 Pemeriksaan Hemoglobin

Pemeriksaan hemoglobin merupakan salah satu pemeriksaan hematologi yang digunakan untuk mengetahui kadar hemoglobin dalam darah. Pemeriksaan ini berperan penting dalam membantu diagnosis anemia, menilai kondisi hematologis pasien, serta mendukung pemantauan terapi yang diberikan. Kadar hemoglobin juga digunakan sebagai indikator kemampuan darah dalam mengangkut oksigen ke jaringan tubuh (Timan & Aryati, 2022).

Saat ini pemeriksaan hemoglobin umumnya dilakukan menggunakan *hematology analyzer* otomatis karena mampu memberikan hasil yang cepat, akurat, dan efisien. Selain mengukur kadar hemoglobin, alat ini juga dapat menghasilkan parameter hematologi lain seperti jumlah eritrosit, hematokrit, serta indeks eritrosit yang meliputi Mean Corpuscular Volume (MCV), Mean Corpuscular Hemoglobin (MCH), dan Mean Corpuscular Hemoglobin Concentration (MCHC), sehingga membantu evaluasi anemia secara lebih lengkap (Rodak et al., 2020).

2.3.5.1 Tujuan Pemeriksaan Hemoglobin

Pemeriksaan hemoglobin bertujuan untuk mengetahui kadar hemoglobin dalam darah dan membantu menilai kondisi hematologis seseorang. Pemeriksaan

ini merupakan parameter utama dalam menentukan status anemia berdasarkan nilai rujukan yang sesuai dengan kelompok usia serta digunakan sebagai pemeriksaan skrining untuk mendeteksi gangguan hematologi (McKenzie & Williams, 2020).

Pada anak, pemeriksaan hemoglobin penting dilakukan karena anemia dapat memengaruhi pertumbuhan dan perkembangan. Selain membantu diagnosis anemia, pemeriksaan hemoglobin juga digunakan untuk memantau respons terapi dan perkembangan kondisi pasien selama proses pengobatan (Susanah et al., 2025; Rodak et al., 2020).

Tabel 2.11 Tujuan Pemeriksaan Hemoglobin

Tujuan Pemeriksaan	Keterangan
Diagnosis anemia	Menentukan kondisi anemia berdasarkan kadar Hb
Evaluasi hematologi	Menilai kondisi sistem hematologi pasien
Monitoring terapi	Memantau perkembangan pasien setelah terapi
Skrining kesehatan	Mengetahui kondisi kesehatan umum pasien

Sumber: McKenzie & Williams (2020); Rodak et al. (2020).

2.3.5.2 Prinsip Pemeriksaan Hemoglobin

Pemeriksaan hemoglobin dilakukan untuk mengetahui kadar hemoglobin dalam darah menggunakan metode tertentu. Seiring perkembangan teknologi laboratorium, metode pemeriksaan hemoglobin berkembang dari metode manual menjadi metode otomatis menggunakan hematology analyzer (Bain et al., 2021).

Salah satu metode yang pernah banyak digunakan adalah metode cyanmethemoglobin, yaitu mengubah hemoglobin menjadi cyanmethemoglobin kemudian mengukurnya secara spektrofotometri berdasarkan intensitas warna yang terbentuk. Semakin tinggi kadar hemoglobin, semakin tinggi intensitas warna yang dihasilkan (Sais et al. 2024)

Saat ini pemeriksaan hemoglobin umumnya dilakukan menggunakan hematology analyzer otomatis karena memberikan hasil yang lebih cepat, akurat, dan efisien. Alat ini bekerja menggunakan prinsip pemeriksaan hematologi otomatis untuk menghasilkan nilai hemoglobin dan parameter hematologi lainnya sehingga banyak digunakan dalam pelayanan laboratorium klinik modern (Rodak et al., 2020).

2.3.5.3 Macam-Macam Pemeriksaan Hemoglobin

Pemeriksaan hemoglobin dapat dilakukan dengan beberapa metode yang memiliki prinsip kerja dan tingkat ketelitian yang berbeda. Pemilihan metode pemeriksaan disesuaikan dengan tujuan pemeriksaan, ketersediaan alat, serta fasilitas laboratorium. Secara umum, metode pemeriksaan hemoglobin yang sering digunakan meliputi metode Sahli, metode Cyanmethemoglobin (HiCN), dan metode Sodium Lauryl Sulfate (SLS) (Rodak et al., 2020).

1. Metode Sahli (Acid Hematin)

Metode Sahli merupakan metode pemeriksaan hemoglobin secara manual yang menggunakan larutan asam klorida (HCl) 0,1 N untuk mengubah hemoglobin menjadi asam hematin. Selanjutnya, warna larutan dibandingkan dengan standar warna pada hemoglobinometer Sahli untuk menentukan kadar hemoglobin. Metode ini sederhana dan mudah dilakukan, tetapi tingkat ketelitiannya lebih rendah karena dipengaruhi oleh penilaian visual pemeriksa (Rodak et al., 2020).

2. Metode Cyanmethemoglobin (HiCN).

Metode Cyanmethemoglobin dilakukan dengan mengubah hemoglobin menjadi sianmethemoglobin menggunakan larutan Drabkin, kemudian kadar hemoglobin diukur menggunakan spektrofotometer. Metode ini memiliki tingkat

akurasi dan presisi yang baik sehingga pernah digunakan sebagai metode rujukan dalam pemeriksaan hemoglobin, namun penggunaannya mulai berkurang karena reagen yang digunakan mengandung sianida (Rodak et al., 2020).

3. Metode Sodium Lauryl Sulfate (SLS).

Metode Sodium Lauryl Sulfate (SLS) merupakan metode yang banyak digunakan pada hematology analyzer modern. Pada metode ini hemoglobin bereaksi dengan Sodium Lauryl Sulfate membentuk senyawa SLS-hemoglobin yang kemudian diukur secara fotometri. Metode ini memiliki akurasi yang baik, lebih aman karena tidak menggunakan sianida, serta mampu menghasilkan pemeriksaan secara cepat dan otomatis sehingga banyak digunakan pada pemeriksaan darah lengkap (Complete Blood Count/CBC) di laboratorium klinik (Rodak et al., 2020).

2.3.5.4 Hematology Analyzer

Hematology analyzer merupakan alat laboratorium otomatis yang digunakan untuk melakukan pemeriksaan hematologi secara cepat dan akurat. Alat ini mampu memeriksa berbagai parameter hematologi, seperti hemoglobin, eritrosit, leukosit, trombosit, hematokrit, serta indeks eritrosit yang meliputi MCV, MCH, dan MCHC (Bain et al., 2021).

Penggunaan hematology analyzer memberikan keuntungan dibandingkan metode manual karena dapat mempercepat pemeriksaan, mengurangi kesalahan penghitungan, dan meningkatkan ketelitian hasil. Oleh karena itu, alat ini banyak digunakan dalam pelayanan laboratorium klinik dan rumah sakit (McKenzie & Williams, 2020).

Pada pemeriksaan hematologi, sampel darah EDTA dianalisis secara otomatis untuk menghasilkan berbagai parameter hematologi. Namun, kualitas sampel

tetap harus diperhatikan karena hemolisis, pembekuan darah, atau kesalahan identifikasi dapat memengaruhi hasil pemeriksaan (Rodak et al., 2020).

2.3.5.5 Faktor yang Memengaruhi Hasil Hemoglobin

Hasil pemeriksaan hemoglobin dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor, baik pra-analitik, analitik, maupun faktor fisiologis pasien. Faktor-faktor tersebut perlu diperhatikan karena dapat memengaruhi akurasi dan interpretasi hasil pemeriksaan laboratorium (McKenzie & Williams, 2020; Rodak et al., 2020).

Pada tahap pra-analitik, kualitas sampel menjadi faktor yang sangat penting. Hemolisis, pembekuan darah, kesalahan identifikasi pasien, penggunaan antikoagulan yang tidak sesuai, serta volume sampel yang tidak mencukupi dapat menyebabkan hasil pemeriksaan menjadi tidak akurat (Rodak et al., 2020; McKenzie & Williams, 2020).

Selain itu, faktor analitik seperti kalibrasi alat dan kondisi reagen, serta faktor fisiologis pasien seperti usia, status gizi, kondisi hidrasi, dan penyakit tertentu juga dapat memengaruhi kadar hemoglobin. Oleh karena itu, hasil pemeriksaan hemoglobin harus diinterpretasikan dengan mempertimbangkan kondisi pasien dan prosedur laboratorium yang digunakan (Kaushansky et al., 2022).

Tabel 2.12 Faktor yang Memengaruhi Hasil Pemeriksaan Hemoglobin

Faktor	Pengaruh terhadap Pemeriksaan
Hemolisis sampel	Menyebabkan hasil tidak akurat
Pembekuan darah	Mengganggu pemeriksaan hematologi
Kesalahan identifikasi	Menyebabkan kesalahan interpretasi
Antikoagulan tidak sesuai	Memengaruhi stabilitas sampel
Kalibrasi alat	Memengaruhi ketepatan hasil
Kondisi fisiologis pasien	Memengaruhi kadar hemoglobin

Sumber: McKenzie & Williams (2020); Rodak et al. (2020).

Berdasarkan uraian tersebut, pemeriksaan hemoglobin memerlukan prosedur laboratorium yang baik agar hasil pemeriksaan yang diperoleh dapat digunakan untuk membantu evaluasi kondisi hematologis pasien secara tepat.

2.3.6 Klasifikasi Kadar Hemoglobin

Kadar hemoglobin pada anak dapat diklasifikasikan berdasarkan kelompok usia dan tingkat keparahan anemia. Nilai hemoglobin normal pada anak berbeda-beda sesuai usia karena kebutuhan oksigen dan aktivitas metabolisme tubuh mengalami perubahan selama masa pertumbuhan (WHO, 2021).

Anak usia 6–59 bulan dikategorikan anemia apabila kadar hemoglobin kurang dari 11 g/dL, sedangkan anak usia 5–12 tahun dikategorikan anemia apabila kadar hemoglobin kurang dari 11,5 g/dL. Selain itu, anemia juga dapat dibedakan menjadi anemia ringan, sedang, dan berat berdasarkan kadar hemoglobin yang ditemukan pada pemeriksaan laboratorium. (Timan & Aryati 2022).

Tabel 2.13 Klasifikasi Kadar Hemoglobin Berdasarkan Usia

Kelompok Usia	Kategori	Kadar Hemoglobin
6–59 bulan	Normal	≥ 11 g/dL
6–59 bulan	Anemia	< 11 g/dL
5–12 tahun	Normal	$\geq 11,5$ g/dL
5–12 tahun	Anemia	$< 11,5$ g/dL

Sumber: WHO (2021)

Tabel 2.14 Derajat Anemia Berdasarkan Kadar Hemoglobin

Derajat Anemia	Kadar Hemoglobin
Ringan	10–10,9 g/dL
Sedang	7–9,9 g/dL
Berat	< 7 g/dL

Sumber: WHO (2021)

Tabel 2.15 Nilai Normal Hemoglobin Berdasarkan Usia

Kelompok Usia	Nilai Normal Hemoglobin
6–59 bulan	11–13 g/dL
5–12 tahun	11,5–15 g/dL

Sumber: Timan & Aryati (2022)

2.3.7 Peran Hemoglobin dalam Anemia

Hemoglobin memiliki peran utama dalam diagnosis anemia karena kadar hemoglobin digunakan sebagai parameter dasar untuk menentukan status anemia seseorang. Penurunan kadar hemoglobin menunjukkan berkurangnya kemampuan darah dalam mengangkut oksigen ke jaringan tubuh sehingga dapat mengganggu fungsi fisiologis normal (WHO, 2021).

Dalam pemeriksaan laboratorium, hasil hemoglobin dibandingkan dengan nilai rujukan sesuai kelompok usia untuk menentukan adanya anemia. Namun, pemeriksaan hemoglobin saja belum dapat menggambarkan karakteristik eritrosit secara menyeluruh sehingga perlu dilengkapi dengan pemeriksaan indeks eritrosit seperti Mean Corpuscular Volume (MCV), Mean Corpuscular Hemoglobin (MCH), dan Mean Corpuscular Hemoglobin Concentration (MCHC) (Timan & Aryati, 2022; Bain et al., 2021).

Kombinasi pemeriksaan hemoglobin dan indeks eritrosit membantu menggambarkan karakteristik anemia secara lebih lengkap. Pada anemia defisiensi besi umumnya ditemukan penurunan kadar hemoglobin, MCV, dan MCH, sedangkan pada anemia megaloblastik biasanya ditemukan peningkatan nilai MCV. Oleh karena itu, hemoglobin dan indeks eritrosit memiliki peran penting dalam evaluasi anemia secara laboratoris, khususnya pada anak penderita anemia (Bain et al., 2021; Rodak et al., 2020; Brugnara, 2013).

2.4. Eritrosit dan Indeks Eritrosit

2.4.1 Pengertian Eritrosit

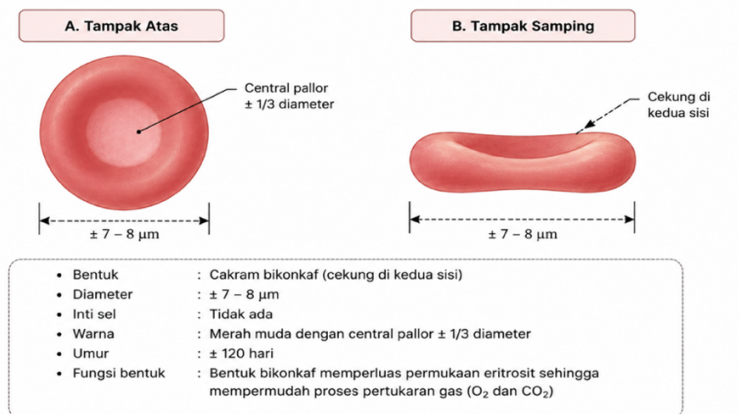
Eritrosit atau sel darah merah merupakan komponen seluler darah yang jumlahnya paling banyak di dalam sirkulasi darah. Eritrosit memiliki fungsi utama sebagai pengangkut oksigen dari paru-paru menuju jaringan tubuh serta membantu membawa karbon dioksida dari jaringan menuju paru-paru untuk dikeluarkan melalui proses respirasi. Fungsi tersebut berlangsung karena eritrosit mengandung hemoglobin yang mampu mengikat oksigen secara reversibel (Rodak et al., 2020, Greer, J. P., et al. 2023)

Eritrosit diproduksi di sumsum tulang melalui proses eritropoiesis. Sel darah merah normal berbentuk bikonkaf, tidak memiliki inti, dan memiliki fleksibilitas tinggi sehingga mampu melewati pembuluh darah kapiler yang berukuran kecil. Bentuk bikonkaf tersebut memberikan luas permukaan yang lebih besar sehingga proses pertukaran gas dapat berlangsung secara optimal (Bain et al., 2021).

Dalam keadaan normal, eritrosit memiliki umur sekitar 120 hari sebelum mengalami penghancuran di limpa dan hati. Eritrosit yang telah tua akan dihancurkan dan komponennya digunakan kembali oleh tubuh, terutama zat besi yang akan dimanfaatkan kembali dalam pembentukan hemoglobin baru (Sais et al. 2024).

Jumlah eritrosit dan kadar hemoglobin yang cukup sangat penting untuk menjaga distribusi oksigen ke seluruh jaringan tubuh. Penurunan jumlah eritrosit maupun kadar hemoglobin dapat menyebabkan kemampuan darah dalam mengangkut oksigen menjadi berkurang sehingga memunculkan kondisi anemia.

Gambar 2.2 Eritrosit Normal



Keterangan: Eritrosit normal berbentuk cakram bikonkaf, tidak berinti, berwarna merah muda dengan bagian tengah lebih pucat (*central pallor*) akibat distribusi hemoglobin yang lebih sedikit dibanding tepi sel.

Sumber: Rodak et al. (2020)

2.4.2 Struktur dan Morfologi Eritrosit

Eritrosit normal memiliki bentuk bulat pipih dengan bagian tengah lebih tipis dibandingkan tepinya sehingga tampak bikonkaf. Bentuk tersebut membantu memperluas permukaan eritrosit sehingga proses difusi oksigen dan karbon dioksida dapat berlangsung lebih efektif (Rodak et al., 2020).

Membran eritrosit tersusun atas lapisan lipid dan protein yang memberikan fleksibilitas pada eritrosit. Fleksibilitas tersebut memungkinkan eritrosit dapat melewati pembuluh darah kapiler yang sempit tanpa mengalami kerusakan. Selain itu, eritrosit normal tidak memiliki inti sel maupun organel sehingga ruang di dalam sel lebih banyak digunakan untuk hemoglobin. (Rodak et al., 2020)

Secara morfologi, eritrosit normal memiliki ukuran sekitar 6–8 μm dengan warna merah muda merata pada pemeriksaan apusan darah tepi. Perubahan ukuran, bentuk, maupun warna eritrosit dapat menjadi petunjuk adanya gangguan hematologi tertentu, termasuk anemia (Bain et al., 2021).

Pada kondisi anemia, eritrosit dapat mengalami perubahan ukuran dan warna. Eritrosit yang berukuran lebih kecil dari normal disebut mikrositik, sedangkan

eritrosit yang berukuran lebih besar disebut makrositik. Selain itu, eritrosit dengan warna lebih pucat disebut hipokrom karena kandungan hemoglobinnnya menurun. (Bain et al., 2021; Hoffbrand et al., 2024).

Tabel 2.16 Karakteristik Eritrosit Normal

Karakteristik	Keterangan
Bentuk	Bikonkaf
Inti sel	Tidak ada
Ukuran	6–8 μm
Umur eritrosit	± 120 hari
Fungsi utama	Transport oksigen dan karbon dioksida

Sumber: Rodak et al. (2020); Bain et al. (2021).

2.4.3 Pembentukan Eritrosit (Eritropoiesis)

Eritropoiesis merupakan proses pembentukan eritrosit yang berlangsung di sumsum tulang. Proses ini dimulai dari sel induk hematopoietik yang berkembang menjadi eritrosit matang melalui beberapa tahap pematangan sel (Purnami et al. 2023).

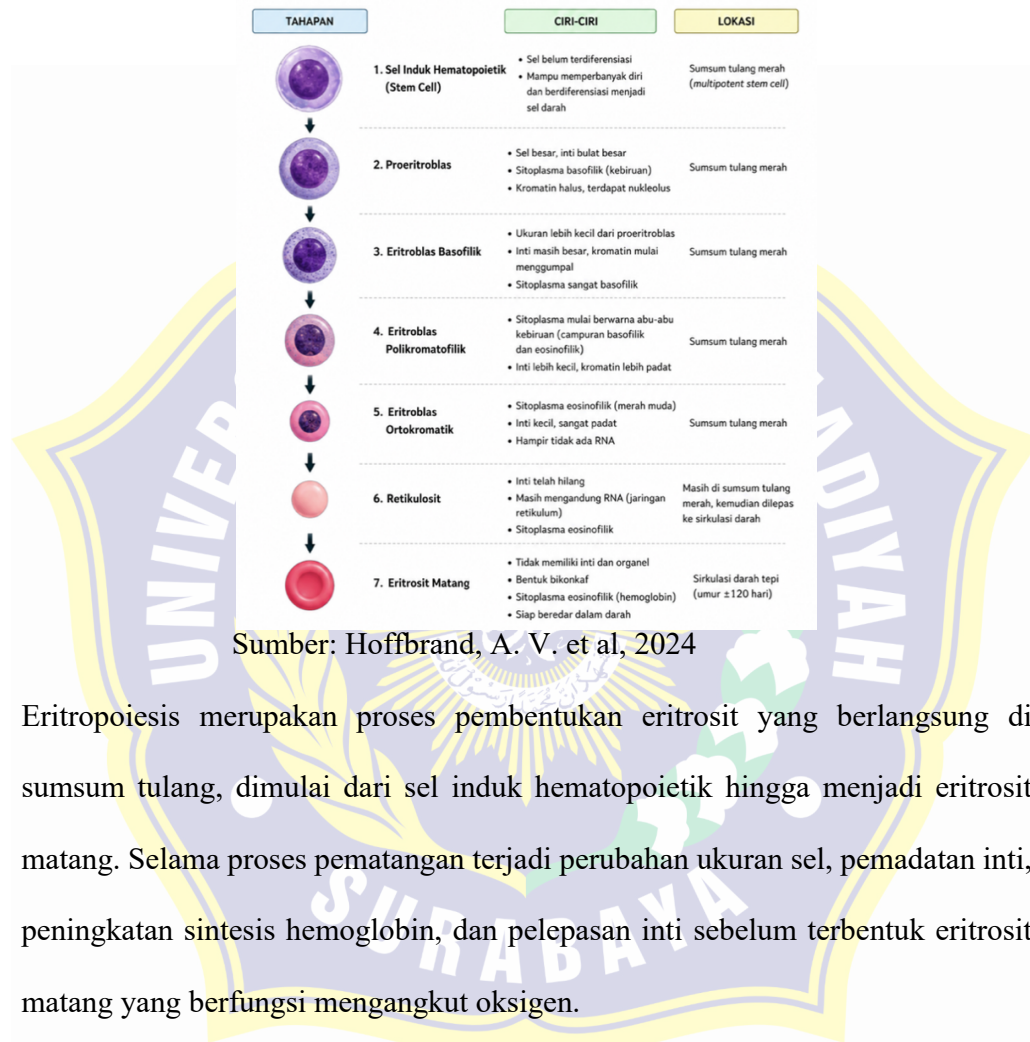
Pembentukan eritrosit dipengaruhi oleh hormon eritropoietin yang diproduksi terutama oleh ginjal. Hormon eritropoietin berfungsi merangsang sumsum tulang untuk meningkatkan produksi eritrosit ketika tubuh mengalami kekurangan oksigen. (Hoffbrand, A. V. et al, 2024).

Proses eritropoiesis memerlukan berbagai komponen penting seperti zat besi, vitamin B12, asam folat, dan protein. Zat besi diperlukan dalam pembentukan hemoglobin, sedangkan vitamin B12 dan asam folat berperan dalam proses sintesis DNA selama pematangan eritrosit (Pasricha et al., 2021).

Gangguan pada proses eritropoiesis dapat menyebabkan jumlah eritrosit dan kadar hemoglobin menurun sehingga terjadi anemia. Kekurangan zat besi, gangguan sumsum tulang, maupun penyakit kronis dapat memengaruhi proses pembentukan eritrosit.

Pada anak, proses eritropoiesis berlangsung aktif untuk memenuhi kebutuhan oksigen selama masa pertumbuhan dan perkembangan. Oleh karena itu, gangguan nutrisi seperti defisiensi zat besi, vitamin B12, dan asam folat dapat memengaruhi pembentukan eritrosit serta meningkatkan risiko anemia.

Gambar 2.3 Proses Eritropoiesis.



Eritropoiesis merupakan proses pembentukan eritrosit yang berlangsung di sumsum tulang, dimulai dari sel induk hematopoietik hingga menjadi eritrosit matang. Selama proses pematangan terjadi perubahan ukuran sel, pepadatan inti, peningkatan sintesis hemoglobin, dan pelepasan inti sebelum terbentuk eritrosit matang yang berfungsi mengangkut oksigen.

2.4.4 Pengertian Indeks Eritrosit

Indeks eritrosit merupakan parameter hematologi yang digunakan untuk menggambarkan karakteristik eritrosit berdasarkan ukuran dan kandungan hemoglobin di dalam eritrosit. Pemeriksaan indeks eritrosit membantu

memberikan gambaran kondisi eritrosit secara lebih lengkap sehingga dapat membantu interpretasi anemia secara laboratoris (Bain et al., 2021).

Indeks eritrosit terdiri atas Mean Corpuscular Volume (MCV), Mean Corpuscular Hemoglobin (MCH), dan Mean Corpuscular Hemoglobin Concentration (MCHC). Ketiga parameter tersebut diperoleh melalui pemeriksaan hematologi menggunakan hematology analyzer otomatis. (Greer, J. P., et al. 2023)

MCV digunakan untuk menggambarkan ukuran rata-rata eritrosit. MCH menggambarkan jumlah rata-rata hemoglobin dalam satu eritrosit, sedangkan MCHC menggambarkan konsentrasi hemoglobin di dalam eritrosit. (Bain et al., 2021; Rodak et al., 2020)

Pemeriksaan indeks eritrosit sangat penting dalam evaluasi anemia karena membantu menentukan pola anemia seperti mikrositik hipokrom, normositik normokrom, maupun makrositik. Oleh karena itu, pemeriksaan indeks eritrosit sering digunakan bersama pemeriksaan hemoglobin dalam evaluasi kondisi hematologis pasien. (Rodak et al., 2020)

Tabel 2.17 Parameter Indeks Eritrosit

Parameter	Fungsi
MCV	Menggambarkan ukuran eritrosit
MCH	Menggambarkan jumlah Hb dalam eritrosit
MCHC	Menggambarkan konsentrasi Hb dalam eritrosit

Sumber: Bain et al. (2021); Rodak et al. (2020).

2.4.5 Mean Corpuscular Volume (MCV)

Mean Corpuscular Volume (MCV) merupakan parameter hematologi yang digunakan untuk menggambarkan ukuran rata-rata eritrosit. Nilai MCV membantu menentukan apakah eritrosit berukuran normal, lebih kecil, atau lebih besar dibandingkan ukuran normal (Rodak et al., 2020).

Nilai MCV rendah menunjukkan eritrosit berukuran kecil atau mikrositik. Kondisi tersebut sering ditemukan pada anemia defisiensi besi dan thalassemia. Sebaliknya, nilai MCV tinggi menunjukkan eritrosit berukuran lebih besar atau makrositik yang umumnya ditemukan pada anemia megaloblastik akibat kekurangan vitamin B12 dan asam folat. (Brugnara, C. 2013).

Sementara itu, nilai MCV normal menunjukkan eritrosit berukuran normal atau normositik. Gambaran tersebut dapat ditemukan pada anemia akibat perdarahan akut maupun penyakit kronis tertentu.

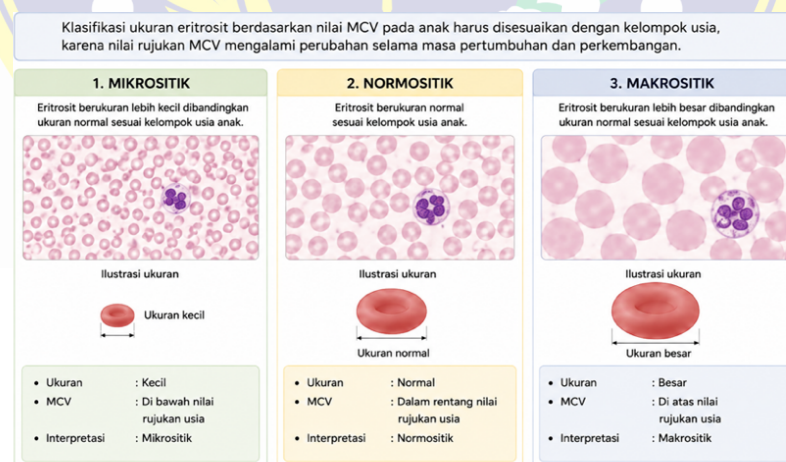
Pada anak, interpretasi nilai MCV harus memperhatikan kelompok usia karena nilai rujukan MCV dapat berbeda pada setiap tahap pertumbuhan. Oleh karena itu, penilaian MCV pada anak perlu disesuaikan dengan nilai rujukan pediatrik yang berlaku. (Lanzkowsky, P. et al 2021)

Tabel 2.18 Interpretasi Nilai MCV Berdasarkan Usia 5-12 Thn

Nilai MCV	Interpretasi	Nilai Rujukan
Rendah	Mikrositik	< 77 fL
Normal	Normositik	77–95 fL
Tinggi	Makrositik	> 95 fL

Sumber: Timan & Aryati (2022); Bain et al. (2021).

Gambar 2.4 Gambaran Eritrosit Berdasarkan Nilai MCV Pada Anak.



Sumber: Rodak et al. (2020).

2.4.6 Mean Corpuscular Hemoglobin (MCH)

Mean Corpuscular Hemoglobin (MCH) merupakan parameter hematologi yang menggambarkan jumlah rata-rata hemoglobin di dalam satu eritrosit. Nilai MCH digunakan untuk membantu mengetahui kandungan hemoglobin eritrosit secara rata-rata (Bain et al., 2021).

Nilai MCH rendah menunjukkan jumlah hemoglobin di dalam eritrosit menurun sehingga eritrosit tampak lebih pucat. Kondisi tersebut sering ditemukan pada anemia defisiensi besi. Sebaliknya, nilai MCH normal menunjukkan kandungan hemoglobin eritrosit masih berada dalam batas normal. Pemeriksaan MCH membantu memperkuat interpretasi hasil pemeriksaan hemoglobin dan MCV dalam evaluasi anemia secara laboratoris. (Urrechaga, E. 2011).

Nilai MCH pada anak dapat mengalami variasi sesuai kelompok usia sehingga interpretasi hasil pemeriksaan perlu disesuaikan dengan nilai rujukan pediatrik. (Lanzkowsky, P. et al 2021).

Tabel 2.19 Interpretasi Nilai MCH

Nilai MCH	Interpretasi
Rendah	Hipokrom
Normal	Normokrom
Tinggi	Hiperkrom

Sumber: Bain et al. (2021); Rodak et al. (2020).

MCH menggambarkan rata-rata jumlah hemoglobin dalam setiap eritrosit. Nilai MCH rendah menunjukkan jumlah hemoglobin eritrosit yang berkurang sehingga eritrosit cenderung tampak lebih pucat (hipokrom). Nilai MCH normal menunjukkan jumlah hemoglobin yang adekuat dalam eritrosit, sedangkan nilai MCH tinggi menunjukkan jumlah hemoglobin eritrosit yang meningkat (Bain et al., 2021; Rodak et al., 2020).

2.4.7 Mean Corpuscular Hemoglobin Concentration (MCHC)

Mean Corpuscular Hemoglobin Concentration (MCHC) merupakan parameter hematologi yang digunakan untuk menggambarkan konsentrasi hemoglobin di dalam eritrosit. Pemeriksaan MCHC membantu menilai tingkat kepuatan eritrosit (Rodak et al., 2020).

Nilai MCHC rendah menunjukkan eritrosit tampak lebih pucat atau hipokrom karena konsentrasi hemoglobin menurun. Kondisi tersebut sering ditemukan pada anemia defisiensi besi. Sebaliknya, nilai MCHC normal menunjukkan eritrosit masih memiliki warna normal atau normokrom. (Bain et al., 2021; Rodak et al., 2020)

Pemeriksaan MCHC membantu melengkapi interpretasi MCV dan MCH dalam evaluasi kondisi anemia pasien. (Bain et al., 2021).

Interpretasi nilai MCHC pada anak tetap perlu mempertimbangkan kelompok usia dan kondisi klinis pasien untuk memperoleh gambaran anemia yang lebih akurat. (Timan & Aryati, 2022; Kliegman et al., 2024)

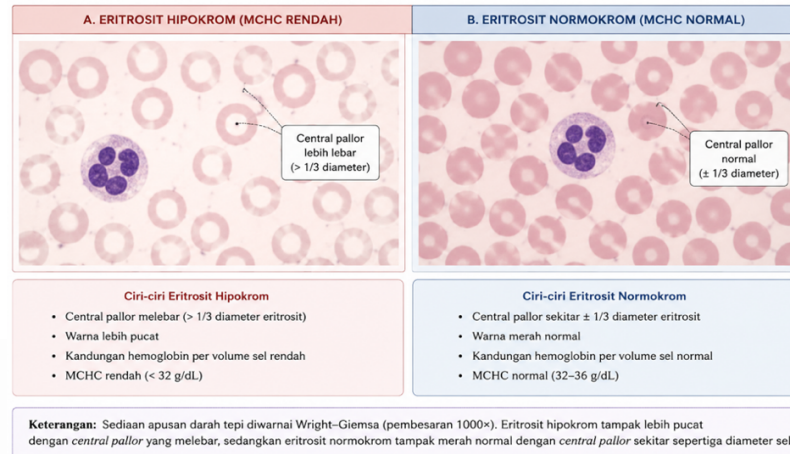
Tabel 2.20 Interpretasi Nilai MCHC

Nilai MCHC	Interpretasi
Rendah	Hipokrom
Normal	Normokrom
Tinggi	Hiperkrom

Sumber: Bain et al. (2021); Rodak et al. (2020).

Gambar 2.5 Eritrosit Hipokrom dan Normokrom

(Perbedaan warna/kepuatan eritrosit berdasarkan nilai MCHC)



Sumber: Rodak et al. (2020)

2.4.8 Pola Anemia Berdasarkan Indeks Eritrosit

Indeks eritrosit membantu menentukan pola anemia berdasarkan ukuran dan kandungan hemoglobin eritrosit. Pola anemia tersebut penting dalam membantu interpretasi laboratoris dan menggambarkan kemungkinan penyebab anemia (Bain et al., 2021).

Anemia mikrositik hipokrom ditandai dengan nilai MCV dan MCHC rendah sehingga eritrosit tampak kecil dan pucat. Gambaran tersebut sering ditemukan pada anemia defisiensi besi dan thalassemia. (Bain et al., 2021; Urrechaga, 2011)

Anemia normositik normokrom menunjukkan ukuran dan warna eritrosit masih normal, namun kadar hemoglobin menurun. Kondisi ini dapat ditemukan pada anemia akibat perdarahan akut maupun penyakit kronis. (Rodak et al., 2020; Bain et al., 2021).

Anemia makrositik ditandai dengan peningkatan nilai MCV sehingga eritrosit tampak lebih besar dibandingkan normal. Gambaran tersebut umumnya ditemukan pada anemia megaloblastik akibat kekurangan vitamin B12 dan asam folat. (Brugnara, 2013; Bain et al., 2021).

Tabel 2.21 Pola Anemia Berdasarkan Indeks Eritrosit

Pola Anemia	MCV	MCHC
Mikrositik hipokrom	Rendah	Rendah
Normositik normokrom	Normal	Normal
Makrositik	Tinggi	Normal

Sumber: Bain et al. (2021); Rodak et al. (2020).

2.4.9 Peran Indeks Eritrosit dalam Anemia

Indeks eritrosit memiliki peran penting dalam evaluasi anemia karena membantu menggambarkan karakteristik eritrosit secara laboratoris. Pemeriksaan indeks eritrosit digunakan bersama pemeriksaan hemoglobin untuk membantu klasifikasi anemia berdasarkan ukuran dan kandungan hemoglobin eritrosit (Rodak et al., 2020).

Pemeriksaan indeks eritrosit membantu membedakan pola anemia sehingga interpretasi hasil laboratorium dapat dilakukan dengan lebih baik. Misalnya, anemia defisiensi besi umumnya memberikan gambaran mikrositik hipokrom, sedangkan anemia megaloblastik memberikan gambaran makrositik. (Brugnara, C. 2013).

Selain membantu klasifikasi anemia, pemeriksaan indeks eritrosit juga membantu memantau perkembangan kondisi pasien selama terapi. Oleh karena itu, indeks eritrosit menjadi parameter penting dalam pemeriksaan hematologi rutin. (Bain et al., 2021; McKenzie & Williams, 2020).

2.4.10 Nilai Normal Indeks Eritrosit pada anak

Nilai normal indeks eritrosit digunakan sebagai acuan dalam interpretasi hasil pemeriksaan hematologi. Nilai tersebut membantu menentukan apakah ukuran dan kandungan hemoglobin eritrosit berada dalam batas normal atau mengalami perubahan tertentu.

Tabel 2.22 Nilai Normal Indeks Eritrosit pada anak 5-12 thn

Parameter	Nilai Normal
MCV	77–95 fL
MCH	25–35 pg
MCHC	32–36 g/dL

Sumber: Bain et al. (2021)

2.5. Hubungan Kadar Hemoglobin dengan Indeks Eritrosit.

Kadar hemoglobin memiliki keterkaitan dengan nilai indeks eritrosit karena seluruh parameter tersebut menggambarkan karakteristik eritrosit. Hemoglobin merupakan komponen utama eritrosit yang berfungsi mengangkut oksigen, sedangkan indeks eritrosit yang meliputi Mean Corpuscular Volume (MCV), Mean Corpuscular Hemoglobin (MCH), dan Mean Corpuscular Hemoglobin Concentration (MCHC) digunakan untuk menilai ukuran eritrosit, jumlah hemoglobin dalam setiap eritrosit, serta konsentrasi hemoglobin di dalam eritrosit. (Rodak et al., 2020)

Pada gangguan sintesis hemoglobin, seperti anemia defisiensi besi, penurunan kadar hemoglobin menyebabkan pembentukan eritrosit menjadi tidak optimal sehingga ukuran eritrosit cenderung lebih kecil yang ditunjukkan oleh penurunan nilai MCV. Berkurangnya sintesis hemoglobin juga menyebabkan jumlah hemoglobin dalam setiap eritrosit menurun sehingga nilai MCH ikut menurun. Selain itu, rendahnya kandungan hemoglobin dalam eritrosit dapat menyebabkan penurunan konsentrasi hemoglobin eritrosit yang tercermin dari nilai MCHC yang lebih rendah. (Rodak et al., 2020)

Meskipun demikian, perubahan nilai MCV, MCH, dan MCHC tidak selalu mengikuti pola yang sama pada setiap jenis anemia. Oleh karena itu, kadar hemoglobin perlu diinterpretasikan bersama dengan indeks eritrosit agar karakteristik anemia dapat dinilai secara lebih komprehensif. Kombinasi

parameter tersebut membantu memberikan gambaran mengenai ukuran eritrosit, kandungan hemoglobin, dan konsentrasi hemoglobin dalam eritrosit sehingga dapat mendukung interpretasi hasil pemeriksaan hematologi (Rodak et al., 2020).

