

# Hematologi dan Imunohematologi Terapan

Teknologi Analitik, Biomarker,  
dan Diagnostik



## Penulis :

Danny Meganingdyah Primartati | Muhammad Arsyad | Sri Tati Rukiyani  
| Fadli Sukandiarsyah | Riana Retno Widiastuty | Aziz Ansori Wahid | Anggi Ardilla  
| Cep Wahyu | Nelma | Asni Ramayana Tina | Ratna Puspita | Desi Purwaningsih.

**HEMATOLOGI DAN  
IMUNOHEMATOLOGI TERAPAN:  
TEKNOLOGI ANALITIK, BIOMARKER,  
DAN DIAGNOSTIK**

**Penulis:**

Danny Meganingdyah Primartati  
Muhammad Arsyad  
Sri Tati Rukiyani  
Fadli Sukandiarsyah  
Riana Retno Widiastuty  
Aziz Ansori Wahid  
Anggi Ardilla  
Cep Wahyu  
Nelma  
Asni Ramayana Tina  
Ratna Puspita  
Desi Purwaningsih

**Editor:** Larantika Hidayati



**PT. Mustika Sri Rosadi**

# HEMATOLOGI DAN IMUNOHEMATOLOGI TERAPAN: TEKNOLOGI ANALITIK, BIOMARKER, DAN DIAGNOSTIK

## Penulis:

1. Danny Meganingdyah Primartati
2. Muhammad Arsyad
3. Sri Tati Rukiyani
4. Fadli Sukandiarsyah
5. Riana Retno Widiastuty
6. Aziz Ansori Wahid
7. Anggi Ardilla
8. Cep Wahyu
9. Nelma
10. Asni Ramayana Tina
11. Ratna Puspita
12. Desi Purwaningsih

**Editor:** Larantika Hidayati

**Layout:** Tim PT. Mustika Sri Rosadi

**Desain Sampul:** Tim PT. Mustika Sri Rosadi

**ISBN:** 978-634-7535-71-9 (PDF)

**Cetakan Pertama:** 25 Maret 2026

Hak Cipta 2026

---

Hak Cipta Dilindungi Oleh Undang-Undang

---

Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk dan dengan cara apapun tanpa izin tertulis dari penerbit.

Diterbitkan oleh Penerbit Mustika Sri Rosadi

Alamat Penerbit: Citra Indah City, Bukit Heliconia AG 23/32,  
Kecamatan Jonggol, Kab. Bogor.

Email: mars.mustikasrirosadi@gmail.com

## **KATA PENGANTAR**

Puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena atas rahmat dan karunia-Nya buku ajar Hematologi dan Imunohematologi Terapan: Teknologi Analitik, Biomarker, dan Diagnostik ini dapat diselesaikan dengan baik. Buku ini disusun sebagai upaya untuk menyediakan sumber pembelajaran yang komprehensif, sistematis, dan relevan dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi di bidang hematologi klinis.

Hematologi dan imunohematologi merupakan bidang yang terus berkembang pesat, terutama dengan hadirnya teknologi diagnostik modern seperti hematology analyzer, biomarker molekuler, hingga pemanfaatan kecerdasan buatan. Oleh karena itu, pemahaman yang kuat terhadap konsep dasar sekaligus kemampuan menginterpretasikan hasil pemeriksaan menjadi sangat penting bagi mahasiswa dan tenaga kesehatan.

Buku ini membahas berbagai topik mulai dari komponen darah dan hematopoiesis, pemeriksaan hematologi, morfologi sel darah, hemostasis dan koagulasi, biomarker hematologi, hingga teknologi hematologi otomatis. Selain itu, dibahas pula imunohematologi, manajemen bank darah, kelainan hematologi, serta peran hematologi dalam penyakit infeksi. Pada bagian akhir, buku ini mengangkat aspek quality control serta

inovasi dan tren masa depan hematologi, termasuk penerapan kecerdasan buatan dan personalized hematology.

Penulis menyadari bahwa buku ini masih memiliki keterbatasan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi penyempurnaan di masa mendatang. Semoga buku ini dapat memberikan manfaat dalam mendukung proses pembelajaran, meningkatkan kompetensi, serta menjadi referensi yang berguna bagi pembaca.

Akhir kata, penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah berkontribusi dalam penyusunan buku ini.

Bogor, 25 Maret 2026  
Penulis

## DAFTAR ISI

<b>KATA PENGANTAR</b> .....	iv
<b>DAFTAR ISI</b> .....	vi
<b>BAB 1. KOMPONEN DARAH DAN FISILOGI HEMATOPOIESIS - Danny Meganingdyah</b>	
<b>Primartati</b> .....	1
<b>A. Tujuan dan Capaian Pembelajaran</b> .....	1
<b>A. Pendahuluan</b> .....	2
<b>B. Darah sebagai Jaringan Cair</b> .....	4
<b>C. Plasma Darah</b> .....	5
<b>D. Sel Darah Merah (Eritrosit)</b> .....	7
<b>E. Sel Darah Putih (Leukosit)</b> .....	9
<b>F. Trombosit (Platelet)</b> .....	11
<b>G. Sistem dan Regulasi Hematopoiesis</b> .....	13
<b>H. Latihan Soal</b> .....	16
<b>BAB 2. PEMERIKSAAN HEMATOLOGI RUTIN DAN LANJUTAN - Muhammad Arsyad</b> .....	
<b>A. Tujuan dan Capaian Pembelajaran</b> .....	19
<b>B. Definisi</b> .....	20
<b>C. Cara Kerja</b> .....	21
<b>D. Latihan Soal</b> .....	35
<b>BAB 3. MORFOLOGI SEL DARAH ABNORMAL - Sri Tati Rukiyani</b> .....	
<b>A. Tujuan dan Capaian Pembelajaran</b> .....	38
<b>B. Konsep Dasar Evaluasi Morfologi Sel Darah</b> .....	39
<b>C. Morfologi Eritrosit Abnormal</b> .....	40
<b>D. Morfologi Leukosit Abnormal</b> .....	47
<b>E. Morfologi Trombosit Abnormal</b> .....	53
<b>F. Latihan Soal</b> .....	56

<b>BAB 4. HEMOSTASIS DAN KOAGULASI - Fadli</b>	
<b>Sukandiarsyah</b> .....	59
<b>A. Tujuan dan Capaian Pembelajaran</b> .....	59
<b>B. Pendahuluan</b> .....	60
<b>C. Mekanisme Hemostasis dan Koagulasi</b> .....	61
<b>E. Pemeriksaan Koagulasi</b> .....	72
<b>F. Kesimpulan</b> .....	76
<b>G. Latihan Soal</b> .....	77
<b>BAB 5. BIOMARKER HEMATOLOGI DALAM</b>	
<b>DIAGNOSTIK KLINIS - Riana Retno Widiastuty</b> .....	80
<b>A. Tujuan dan Capaian Pembelajaran</b> .....	80
<b>B. Konsep Dasar Biomarker</b> .....	81
<b>C. Klasifikasi Biomarker Hematologi</b> .....	84
<b>D. Biomarker Eritrosit</b> .....	89
<b>E. Biomarker Leukosit</b> .....	90
<b>F. Biomarker Trombosit</b> .....	90
<b>G. Biomarker Hematologi Berbasis Molekuler</b> .....	91
<b>H. Latihan Soal</b> .....	91
<b>BAB 6. Teknologi Hematologi Otomatis - Aziz</b>	
<b>Ansori Wahid</b> .....	95
<b>A. Tujuan dan Capaian Pembelajaran</b> .....	95
<b>B. Definisi</b> .....	96
<b>C. Hematology Analyzer</b> .....	100
<b>D. Kesimpulan</b> .....	115
<b>E. Latihan Soal</b> .....	116
<b>BAB 7. IMUNOHEMATOLOGI DASAR - Anggi</b>	
<b>Ardilla</b> .....	119
<b>A. Tujuan dan Capaian Pembelajaran</b> .....	119
<b>B. Pendahuluan</b> .....	120
<b>C. Sistem Penggolongan Darah ABO</b> .....	121
<b>D. Antibodi ABO</b> .....	126

E. Reaksi Antigen-Antibodi.....	130
<b>BAB 8. BANK DARAH DAN MANAJEMEN</b>	
<b>TRANSFUSI DARAH - Cep Wahyu .....</b>	<b>135</b>
A. Tujuan dan Capaian pembelajaran .....	135
B. Pendahuluan.....	136
C. Pengertian dan Klasifikasi Bank Darah .....	146
D. Manajemen Transfusi Darah Rasional .....	152
E. Pemeriksaan Golongan Darah dan Sistem Antigen .....	159
F. Uji Kecocokan ( <i>Crossmatch</i> ) dan Skrining Antibodi .....	165
G. Sistem Mutu, Hemovigilans, dan Penutup ....	171
H. Kesimpulan .....	177
I. Latihan Soal.....	179
<b>BAB 9. KELAINAN DARAH HEREDITER DAN</b>	
<b>PENYAKIT HEMATOLOGI - Nelma.....</b>	<b>182</b>
A. Tujuan dan Capaian Pembelajaran .....	182
B. Definisi.....	183
C. Klasifikasi.....	184
D. Latihan Soal.....	192
<b>BAB 10. HEMATOLOGI PADA PENYAKIT INFEKSI -</b>	
<b>Asni Ramayana Tina.....</b>	<b>195</b>
A. Tujuan dan Capaian Pembelajaran .....	195
B. Pendahuluan.....	196
C. Peran Sistem Hematologi dalam Respons Terhadap Infeksi.....	197
D. Perubahan Leukosit pada Penyakit Infeksi ....	198
D. Perubahan Eritrosit pada Penyakit Infeksi.....	199
F. Biomarker Hematologi pada Penyakit Infeksi.....	200

<b>G. Peran Pemeriksaan Hematologi dalam Diagnosis Infeksi .....</b>	201
<b>H. Hematologi pada Infeksi Bakteri .....</b>	202
<b>I. Hematologi pada Infeksi Virus .....</b>	203
<b>J. Hematologi pada Infeksi Parasit.....</b>	204
<b>K. Hematologi pada Infeksi Jamur .....</b>	204
<b>L. Hematologi pada Sepsis.....</b>	205
<b>M. Peran Apusan Darah Tepi pada Penyakit Infeksi.....</b>	206
<b>N. Pemeriksaan Hematologi Lanjutan pada Penyakit Infeksi.....</b>	206
<b>O. Interpretasi Hasil Pemeriksaan Hematologi pada Penyakit Infeksi.....</b>	207
<b>P. Latihan Soal.....</b>	208
<b>BAB 11. <i>QUALITY CONTROL</i> DALAM PEMERIKSAAN HEMATOLOGI - Ratna Puspita .....</b>	211
<b>A. Tujuan dan Capaian Pembelajaran .....</b>	211
<b>B. Pentingnya <i>Quality control</i> (QC) dan Prinsip Dasar dalam Hematologi .....</b>	212
<b>C. <i>Internal Quality Control</i> (IQC) dan Aturan Pengendalian Kualitas .....</b>	217
<b>D. <i>External Quality Assessment</i> (EQA), Teknologi Modern, dan CAPA.....</b>	227
<b>E. Latihan Soal.....</b>	234
<b>BAB 12. INOVASI &amp; TREN MASA DEPAN HEMATOLOGI KLINIS (AI, DIGITAL MORPHOLOGY, DAN <i>PERSONALIZED HEMATOLOGY</i>) - Desi Purwaningsih.....</b>	238
<b>A. Tujuan dan Capaian Pembelajaran .....</b>	238
<b>B. Definisi.....</b>	239
<b>C. Klasifikasi.....</b>	241

<b>D. Cara Kerja .....</b>	<b>243</b>
<b>E. Keunggulan dan Keterbatasan Inovasi Hematologi Modern .....</b>	<b>245</b>
<b>F. Tantangan, Etika, dan regulasi.....</b>	<b>246</b>
<b>G. Tren Masa Depan Hematologi Klinis .....</b>	<b>248</b>
<b>H. Kesimpulan .....</b>	<b>250</b>
<b>I. Latihan Soal.....</b>	<b>250</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>253</b>
<b>BIOGRAFI.....</b>	<b>278</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>294</b>
<b>SINOPSIS.....</b>	<b>297</b>

# **BAB 1. KOMPONEN DARAH DAN FISILOGI HEMATOPOIESIS**

---

## **A. Tujuan dan Capaian Pembelajaran**

### 1. Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari bab ini, pembaca diharapkan mampu memahami konsep dasar darah sebagai jaringan cair, komposisi dan fungsi komponen darah, serta mekanisme hematopoiesis dan regulasinya sebagai dasar dalam memahami fisiologi darah dan interpretasi pemeriksaan hematologi.

### 2. Capaian Pembelajaran

Setelah mengikuti pembelajaran pada bab ini diharapkan mahasiswa mampu:

- a. Menjelaskan konsep darah sebagai jaringan cair dan perannya dalam menjaga keseimbangan fisiologis tubuh.
- b. Mengidentifikasi komponen utama darah yang terdiri dari plasma dan elemen seluler.
- c. Menjelaskan struktur, komposisi, dan fungsi plasma darah dalam berbagai proses fisiologis.
- d. Mendeskripsikan karakteristik morfologi, fungsi, dan siklus hidup eritrosit.
- e. Mengklasifikasikan jenis-jenis leukosit serta menjelaskan peran masing-masing dalam sistem pertahanan tubuh.

- f. Menjelaskan struktur, fungsi, dan peran trombosit dalam proses hemostasis.
- g. Mendeskripsikan proses hematopoiesis sebagai mekanisme pembentukan sel darah.
- h. Menjelaskan lokasi dan perkembangan hematopoiesis sepanjang siklus kehidupan manusia.
- i. Mengidentifikasi faktor-faktor yang memengaruhi regulasi hematopoiesis, termasuk hormon, sitokin, dan faktor pertumbuhan.
- j. Mengaitkan konsep fisiologi darah dengan dasar interpretasi pemeriksaan hematologi dalam bidang kesehatan.

## **A. Pendahuluan**

Darah merupakan jaringan cair yang berperan dalam mempertahankan keseimbangan fisiologis tubuh. Melalui sistem sirkulasi, darah berfungsi sebagai media transportasi oksigen, nutrisi, hormon, dan produk metabolisme, sekaligus berperan dalam pertahanan imun, regulasi suhu, serta proses hemostasis. Kompleksitas fungsi tersebut tercermin dari komposisi darah yang terdiri atas plasma dan elemen seluler yang memiliki struktur, fungsi, dan mekanisme regulasi yang khas (Kaushansky et al., 2021).

Hematologi sebagai cabang ilmu biomedis mempelajari darah, organ pembentuk darah, serta

kelainan yang menyertainya. Salah satu konsep fundamental dalam hematologi adalah hematopoiesis, yaitu proses pembentukan dan pematangan sel darah. Proses ini tidak bersifat statis, melainkan sangat dinamis dan dipengaruhi oleh berbagai faktor internal maupun eksternal, seperti kebutuhan fisiologis tubuh, status inflamasi, hipoksia, serta regulasi oleh sitokin dan faktor pertumbuhan (Mitchell et al., 2022).

Perkembangan teknologi analitik hematologi dalam dua dekade terakhir semakin menuntut pemahaman fisiologis yang kuat. Interpretasi parameter-parameter tersebut tidak dapat dilepaskan dari pemahaman mengenai asal-usul, fungsi, dan siklus hidup sel darah. Tanpa landasan fisiologi yang memadai, pemanfaatan teknologi canggih justru berisiko menimbulkan interpretasi yang keliru (Daves et al., 2023).

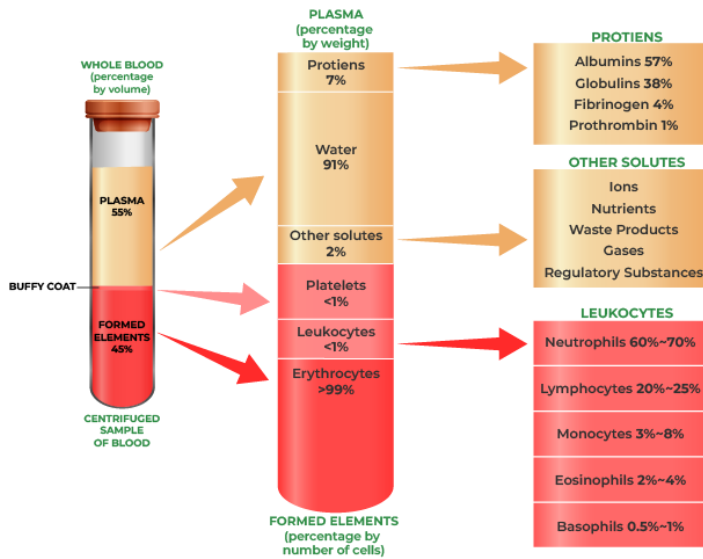
Bab ini disusun sebagai fondasi konseptual. Pembahasan dimulai dari darah sebagai jaringan cair, dilanjutkan dengan uraian masing-masing komponen seluler darah, sistem hematopoiesis, serta mekanisme regulasinya, fisiologi hematopoiesis dan interpretasi pemeriksaan hematologi. Pendekatan tersebut, diharapkan dapat berpengaruh dalam kerangka berpikir yang kokoh dalam memahami dan

menerapkan ilmu hematologi secara analitik dan aplikatif.

## **B. Darah sebagai Jaringan Cair**

Darah merupakan jaringan ikat khusus yang berperan sebagai media transportasi, regulator homeostasis, dan efektor pertahanan imun. Secara fungsional, darah berperan dalam menghubungkan organ-organ tubuh melalui sistem sirkulasi, mengangkut oksigen dan nutrisi, membuang sisa metabolisme, menjaga keseimbangan cairan dan elektrolit, serta mendukung proses koagulasi dan respon imun (Kaushansky et al., 2021).

Darah terdiri dari dua komponen besar yaitu plasma dan elemen seluler (eritrosit, leukosit dan trombosit). Secara kuantitatif, plasma menyumbang kira-kira 55% dari volume darah total pada orang dewasa sehat, sedangkan komponen seluler terutama eritrosit menyumbang sekitar 45% (Mathew et al., 2025). Volume darah total bervariasi menurut ukuran tubuh, usia, dan status hidrasi. Pada orang dewasa normal, estimasi volume darah berkisar sekitar 70 mL/kg, anak-anak dan neonatus memiliki volume relatif yang berbeda sehingga koreksi berbasis berat badan diperlukan dalam penanganan klinik dan penelitian (Oberholzer et al., 2024).



Gambar 1.1 Komponen Darah

### C. Plasma Darah

Plasma darah merupakan komponen cair darah yang berfungsi sebagai medium utama bagi elemen seluler dan berbagai molekul terlarut. Secara fisiologis, plasma tidak hanya berperan sebagai pelarut pasif, tetapi sistem transport dinamis yang mengintegrasikan fungsi metabolik, imunologis, dan hemostatik. Dalam kondisi normal, plasma menyusun sekitar 55% dari volume darah total pada orang dewasa, dengan variasi yang dipengaruhi oleh usia, jenis kelamin, dan status hidrasi (Kaushansky et al., 2021).

Plasma memiliki sifat fisikokimia yang relatif stabil, termasuk osmolaritas, pH, dan tekanan onkotik, yang seluruhnya dijaga melalui mekanisme homeostasis. Perubahan kecil pada komposisi plasma

dapat memberikan dampak sistemik yang signifikan, sehingga analisis plasma menjadi bagian penting dalam evaluasi klinis dan laboratorium hematologi (Mathew et al., 2025).

Plasma darah terdiri atas 91-92% air dan 8-9% zat terlarut. Komponen terlarut tersebut meliputi protein plasma, elektrolit, nutrisi, hormon, gas terlarut, serta produk sisa metabolisme. Air plasma berfungsi sebagai pelarut universal dan media transport, sedangkan zat terlarut memberikan fungsi biologis yang spesifik. Protein plasma merupakan komponen terpenting secara fungsional dan kuantitatif. Protein ini mencakup albumin, globulin (termasuk imunoglobulin), fibrinogen, serta berbagai protein fase akut dan faktor koagulasi yang masing-masing memiliki peran fisiologis dan implikasi klinis yang berbeda (McKenzie et al., 2021).

1. Albumin: protein plasma dengan konsentrasi tertinggi dan berperan mempertahankan tekanan osmotik. Albumin berfungsi sebagai protein pengikat pada berbagai molekul seperti asam lemak bebas, hormon, dan obat-obatan. Penurunan kadar albumin mencerminkan gangguan sintesis hati atau respon fase akut inflamasi.
2. Globulin: protein dengan fungsi imunologis dan transport, termasuk imunoglobulin yang berperan dalam imunitas humoral. Perubahan globulin mengindikasikan proses inflamasi kronis, infeksi, atau kelainan proliferasi sistem imun.

3. Fibrinogen dan faktor koagulasi: berperan dalam sistem hemostasis. Keberadaan fibrinogen membedakan plasma dan serum, kadar fibrinogen sering meningkat sebagai bagian dari respon fase akut. Evaluasi protein plasma tidak hanya penting untuk menilai status nutrisi dan inflamasi, tetapi juga untuk memahami kecenderungan perdarahan atau thrombosis

Selain protein, plasma juga mengandung elektrolit utama seperti natrium, kalium, klorida, dan bikarbonat yang berperan dalam keseimbangan cairan dan asam basa tubuh (Hoffbrand & Steensma, 2023). Plasma berfungsi sebagai media transport utama bagi oksigen, karbon dioksida, hormon, nutrisi, dan produk metabolisme. Plasma juga berperan menjaga suhu tubuh dan sistem buffer plasma berperan dalam menjaga kestabilan pH darah. Dalam fisiologi hematologi, plasma berfungsi sebagai lingkungan tempat sel darah berinteraksi dengan mediator inflamasi, sitokin, dan faktor pertumbuhan (Mathew et al., 2025).

#### **D. Sel Darah Merah (Eritrosit)**

Eritrosit atau sel darah merah merupakan komponen seluler darah dengan jumlah terbanyak dan memiliki peran utama dalam transport oksigen. Secara morfologis, eritrosit dewasa berbentuk cakram bikonkaf, tidak berinti, dan memiliki fleksibilitas tinggi, memungkinkan sel ini melewati kapiler dengan diameter yang lebih kecil dari ukurannya sendiri. Eritrosit memiliki diameter rerata sekitar 7-8  $\mu\text{m}$

dengan volume sel rerata berkisar antara 80-100 fL. Variasi ukuran dan bentuk eritrosit di luar rentang normal sering kali menjadi petunjuk awal adanya gangguan hematologis (El Brihi & Pathak, 2025).

Struktur eritrosit dirancang secara khusus untuk mendukung fungsi transport gas. Membran eritrosit tersusun atas lapisan lipid ganda yang diperkaya protein struktural seperti spektrin, ankirin, dan band 3, yang berperan dalam menjaga stabilitas dan deformabilitas sel. Sitoplasma eritrosit hampir seluruhnya diisi oleh hemoglobin (Barbalato & Pillarisetty, 2025). Hemoglobin merupakan protein utama dalam eritrosit yang bertanggung jawab terhadap fungsi transport gas dan berkontribusi pada sistem buffer darah, sehingga membantu menjaga keseimbangan asam basa tubuh (Chatzinikolaou et al., 2024).

Eritrosit memiliki umur hidup rerata sekitar 120 hari dalam sirkulasi. Seiring bertambahnya usia, eritrosit mengalami perubahan struktural dan biokimia yang mengurangi fleksibilitas membran, sehingga sel yang sudah tua akan dikenali dan dieliminasi oleh sistem retikuloendotelial, terutama di limpa dan hati. Proses destruksi eritrosit menghasilkan pemecahan hemoglobin menjadi globin dan heme. Besi dari heme akan didaur ulang untuk pembentukan eritrosit baru, sedangkan sisa heme diubah menjadi bilirubin yang diekskresikan melalui sistem hepatobilier (Chatzinikolaou et al., 2024).

## **E. Sel Darah Putih (Leukosit)**

Sel darah putih atau leukosit merupakan komponen seluler darah yang berperan dalam sistem pertahanan tubuh terhadap infeksi, inflamasi, dan proses patologis lainnya. Berbeda dengan eritrosit, leukosit memiliki inti sel dan kemampuan melakukan migrasi aktif dari sirkulasi ke jaringan. Jumlah leukosit dalam darah perifer relatif lebih sedikit dibandingkan eritrosit, namun variasi jumlah dan distribusi jenis leukosit sangat mencerminkan status imunologis dan inflamasi tubuh. Leukosit menjadi indikator penting dalam evaluasi klinis berbagai penyakit infeksius, inflamasi, imunologis, dan keganasan hematologi (Abbas et al., 2022).

Secara morfologis dan fungsional, leukosit diklasifikasikan menjadi dua kelompok besar, yaitu granulosit dan agranulosit. Granulosit meliputi neutrofil, eosinofil, dan basofil, yang ditandai dengan adanya granula sitoplasma dan bentuk inti bersegmen. Agranulosit terdiri atas limfosit dan monosit, yang memiliki inti tunggal dengan morfologi khas dan fungsi imunologis yang lebih spesifik. Klasifikasi ini tidak hanya penting secara deskriptif, tetapi juga menjadi dasar interpretasi hitung jenis leukosit pada pemeriksaan laboratorium (Carlberg & Velleuer, 2022).

Neutrofil merupakan leukosit dengan jumlah terbanyak dan berperan sebagai pertahanan terhadap

infeksi, khususnya infeksi bakteri. Sel ini memiliki kemampuan fagositosis yang tinggi dan dapat menghancurkan mikroorganisme melalui mekanisme oksidatif dan non-oksidatif. Peningkatan jumlah neutrofil mencerminkan respon inflamasi akut atau infeksi bakteri, sedangkan penurunan neutrofil (neutropenia) meningkatkan risiko infeksi serius. Selain fagositosis, neutrofil juga berperan dalam pembentukan neutrophil extracellular traps (NETs) sebagai mekanisme tambahan dalam pertahanan imun (Parija, 2023).

Eosinofil dan basofil berperan spesifik dalam respon imun. Eosinofil berperan dalam reaksi alergi dan pertahanan terhadap infeksi parasit. Granula eosinofil mengandung protein sitotoksik yang dapat merusak membran parasit. Basofil, dengan jumlahnya yang sangat sedikit dalam darah perifer, berperan dalam reaksi hipersensitivitas melalui pelepasan histamin dan mediator inflamasi lainnya, terutama dalam respons alergi tipe segera (Abbas et al., 2022).

Limfosit merupakan komponen utama sistem imun adaptif dan terdiri atas subpopulasi utama, yaitu limfosit T, limfosit B, dan sel natural killer (NK). Limfosit T berperan dalam imunitas seluler, termasuk regulasi respon imun dan eliminasi sel terinfeksi, sedangkan limfosit B berperan terhadap produksi antibodi dalam imunitas humoral. Sel NK berperan pada pengawasan imun dengan menghancurkan sel yang mengalami

transformasi ganas atau terinfeksi virus tanpa memerlukan sensitisasi sebelumnya. Perubahan jumlah atau fungsi limfosit sering ditemukan pada infeksi virus, penyakit autoimun, dan keganasan hematologi (Carlberg & Velleuer, 2022).

Monosit merupakan leukosit berukuran terbesar dalam darah perifer dan berfungsi sebagai prekursor makrofag dan sel dendritik di jaringan. Setelah bermigrasi ke jaringan, monosit berdiferensiasi menjadi sel fagosit yang berperan dalam fagositosis, presentasi antigen, dan regulasi respon imun. Peningkatan jumlah monosit sering dijumpai pada infeksi kronis, proses inflamasi berkepanjangan, dan fase pemulihan setelah infeksi akut (Abbas et al., 2022).

Secara fisiologis, leukosit tidak hanya beredar dalam darah, tetapi juga mengalami proses margination, diapedesis, dan kemotaksis untuk mencapai lokasi inflamasi atau infeksi. Dinamika ini menjelaskan jumlah leukosit dalam darah perifer dapat berubah secara cepat sebagai respons terhadap rangsangan fisiologis maupun patologis (Means et al., 2023).

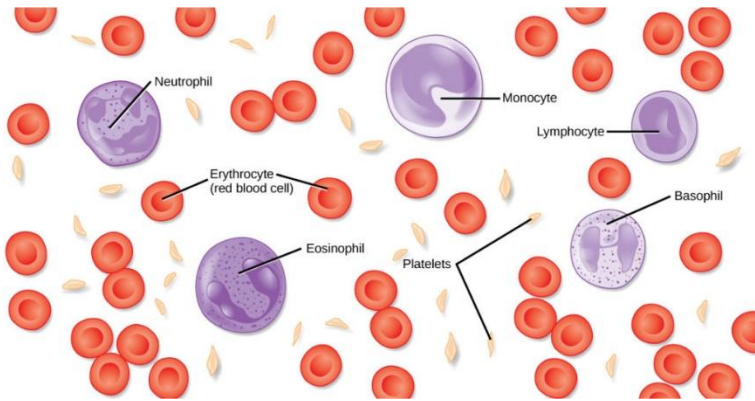
## **F. Trombosit (Platelet)**

Trombosit atau platelet merupakan fragmen sel anukleat yang berperan dalam proses hemostasis dan pemeliharaan integritas vaskular. Selain perannya

dalam hemostasis, trombosit juga berkontribusi dalam proses inflamasi, imunitas bawaan, dan perbaikan jaringan melalui pelepasan sitokin dan faktor pertumbuhan (Mandel et al., 2022).

Trombosit berumur sekitar 7-10 hari sebelum dieliminasi oleh sistem retikuloendotelial. Berbeda dengan eritrosit dan leukosit, trombosit bukanlah sel utuh, melainkan fragmen sitoplasma yang dilepaskan megakariosit di sumsum tulang. Meskipun ukurannya kecil dan tidak memiliki inti, trombosit memiliki aktivitas biologis yang tinggi dan responsif terhadap berbagai rangsangan vaskular. Dalam sirkulasi darah perifer, trombosit berada dalam keadaan inaktif dan akan segera teraktivasi ketika terjadi cedera endotel pembuluh darah (R. J. Means et al., 2023).

Secara fisiologis, produksi trombosit diatur terutama oleh trombopoietin, suatu hormon yang disintesis di hati dan ginjal, yang berperan dalam mengendalikan proliferasi dan maturasi megakariosit. Keseimbangan antara produksi dan destruksi trombosit menentukan jumlah trombosit dalam darah perifer, pada individu dewasa sehat umumnya berkisar antara 150.000-400.000/ $\mu$ L (Hoffbrand & Steensma, 2023).



Gambar 1.2 Jenis Sel Darah

## G. Sistem dan Regulasi Hematopoiesis

Hematopoiesis merupakan proses biologis kompleks yang berperan dalam pembentukan, diferensiasi, dan pemeliharaan seluruh sel darah. Proses ini memastikan ketersediaan eritrosit, leukosit, dan trombosit dalam jumlah dan kualitas yang sesuai dengan kebutuhan fisiologis tubuh. Hematopoiesis bersifat dinamis dan adaptif, mampu merespons perubahan kondisi internal maupun eksternal seperti hipoksia, infeksi, inflamasi, dan kehilangan darah (Kaushansky et al., 2021).

Pada manusia, lokasi hematopoiesis mengalami perubahan seiring perkembangan usia. Selama kehidupan embrional, pembentukan sel darah dimulai di yolk sac, kemudian berpindah ke hati dan limpa. Setelah lahir, sumsum tulang menjadi organ utama hematopoiesis. Perubahan lokasi dan intensitas hematopoiesis mencerminkan kebutuhan fisiologis

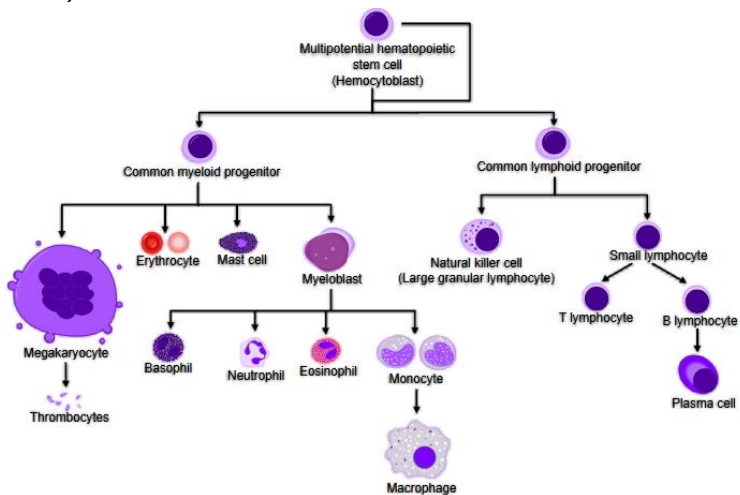
dan kapasitas jaringan pendukung (Ernstmeyer & Christman, 2024).

Seluruh sel darah berasal dari sel punca hematopoietik (*hematopoietic stem cells*, HSC), yaitu sel multipoten yang memiliki kemampuan *self-renewal* dan diferensiasi menjadi berbagai garis keturunan sel darah. HSC berdiferensiasi menjadi progenitor mieloid dan limfoid, yang selanjutnya menghasilkan eritrosit, granulosit, monosit, trombosit, serta limfosit. Proses diferensiasi ini berlangsung secara terkoordinasi dan terkontrol, sehingga keseimbangan antara berbagai jenis sel darah dapat dipertahankan dalam kondisi normal (Shaban et al., 2025).

Regulasi hematopoiesis juga dikendalikan oleh berbagai faktor pertumbuhan dan sitokin, seperti eritropoietin, trombopoietin, dan *colony-stimulating factors*. Eritropoietin berperan dalam merangsang eritropoiesis sebagai respons terhadap hipoksia, sedangkan trombopoietin mengatur produksi trombosit melalui stimulasi megakariosit. Sitokin lainnya berperan dalam mengatur proliferasi dan maturasi leukosit sesuai kebutuhan sistem imun. Mekanisme regulasi ini memungkinkan sistem hematopoietik beradaptasi secara cepat terhadap stres fisiologis dan patologis (Kemna et al., 2025).

Regulasi hematopoiesis juga dipengaruhi oleh faktor sistemik, termasuk status nutrisi dan hormonal.

Ketersediaan zat besi, vitamin B12, dan asam folat menentukan efektivitas pembentukan sel darah, sementara hormon dan mediator lain dapat memodifikasi pelepasan dan distribusi sel darah di sirkulasi. Keseimbangan produksi sel darah dipertahankan melalui mekanisme umpan balik negatif berdasarkan jumlah dan fungsi sel darah. Peningkatan jumlah sel darah tertentu akan menurunkan stimulasi faktor pertumbuhan terkait, sedangkan penurunan jumlah sel akan meningkatkan sinyal stimulasi hematopoiesis. Mekanisme ini penting untuk mencegah terjadinya hiperplasia sel darah yang tidak terkontrol dan menjaga stabilitas sistem hematopoietik dalam kondisi fisiologis (Xie et al., 2024).



Gambar 1.3 Skema Hematopoiesis

## H. Latihan Soal

1. Darah disebut sebagai jaringan cair karena
  - a. Mengandung sel dan matriks ekstraseluler berupa plasma
  - b. Selalu berada dalam keadaan cair pada suhu tubuh
  - c. Mengalir di dalam pembuluh darah
  - d. Diproduksi oleh sumsum tulang
  - e. Mengandung protein dan elektrolit
2. Protein plasma yang berperan utama dalam menjaga tekanan osmotik koloid darah adalah
  - a. Fibrinogen
  - b. Albumin
  - c. Globulin
  - d. Transferrin
  - e. Lipoprotein
3. Karakteristik yang membedakan plasma dari serum adalah
  - a. Plasma tidak mengandung protein
  - b. Serum mengandung faktor koagulasi
  - c. Plasma diperoleh tanpa antikoagulan
  - d. Serum terbentuk setelah proses pembekuan darah
  - e. Plasma hanya digunakan untuk pemeriksaan biokimia
4. Bentuk bikonkaf eritrosit terutama berfungsi untuk
  - a. Memperpanjang umur eritrosit dalam sirkulasi
  - b. Mempermudah proses eritropoiesis

- c. Menurunkan afinitas hemoglobin terhadap oksigen
  - d. Meningkatkan fleksibilitas sel dan luas permukaan pertukaran gas
  - e. Mengurangi kebutuhan energi metabolik
5. Sumber utama energi eritrosit untuk mempertahankan integritas membran sel adalah
- a. Fosforilasi oksidatif
  - b. Jalur pentosa fosfat
  - c. Siklus asam sitrat
  - d. Metabolisme asam lemak
  - e. Glikolisis anaerob
6. Leukosit yang berperan dominan dalam fagositosis bakteri pada fase awal infeksi akut adalah
- a. Monosit
  - b. Neutrofil
  - c. Limfosit T
  - d. Eosinofil
  - e. Basofil
7. Eosinofil terutama berperan dalam
- a. Produksi antibody
  - b. Presentasi antigen
  - c. Regulasi pembentukan trombus
  - d. Pertahanan terhadap parasit dan reaksi alergi
  - e. Aktivasi komplemen
8. Struktur trombosit yang menyimpan ADP, kalsium, dan serotonin adalah
- a. Granula alfa

- b. Lisosom
  - c. Granula dens
  - d. Retikulum endoplasma
  - e. Membran trombosit
9. ada manusia dewasa, lokasi utama hematopoiesis fisiologis adalah
- a. Limpa
  - b. Hati
  - c. Sumsum tulang panjang ekstremitas
  - d. Kelenjar getah bening
  - e. Sumsum tulang aksial
10. Dalam perspektif diagnostik, perubahan parameter darah perifer paling tepat mencerminkan
- a. Aktivitas patologis organ limpa
  - b. Kesalahan pra-analitik laboratorium
  - c. Perubahan akut volume plasma
  - d. Dinamika produksi, pematangan, dan destruksi sel darah
  - e. Variasi fisiologis tanpa nilai klinis

## **BAB 2. PEMERIKSAAN HEMATOLOGI RUTIN DAN LANJUTAN**

---

### **A. Tujuan dan Capaian Pembelajaran**

#### 1. Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari materi ini, mahasiswa diharapkan mampu memahami konsep pemeriksaan hematologi rutin dan lanjutan serta prinsip, metode, dan prosedur pemeriksaan laboratorium hematologi yang digunakan untuk menilai komponen darah dan mendukung diagnosis berbagai kondisi klinis.

#### 2. Capaian Pembelajaran

- a. Menjelaskan pengertian dan tujuan pemeriksaan hematologi rutin dan pemeriksaan hematologi lanjutan.
- b. Mengidentifikasi parameter-parameter yang termasuk dalam pemeriksaan hematologi rutin, seperti hemoglobin, hematokrit, eritrosit, leukosit, trombosit, dan indeks eritrosit.
- c. Menjelaskan prinsip dan prosedur pemeriksaan hemoglobin menggunakan metode sianmethemoglobin.
- d. Mendeskripsikan langkah-langkah pemeriksaan hematokrit menggunakan metode mikrohematokrit.
- e. Menjelaskan prosedur pemeriksaan jumlah leukosit menggunakan kamar hitung.
- f. Mendeskripsikan prosedur pemeriksaan jumlah eritrosit menggunakan kamar hitung.

- g. Menjelaskan metode pemeriksaan jumlah trombosit secara manual menggunakan reagen Rees-Ecker.
- h. Menghitung dan menginterpretasikan indeks eritrosit yang meliputi MCV, MCH, dan MCHC.
- i. Menjelaskan prinsip dan prosedur pemeriksaan laju endap darah metode Westergren.
- j. Mendeskripsikan metode pemeriksaan jumlah retikulosit dengan metode kering dan metode basah.
- k. Menjelaskan prosedur pemeriksaan hitung jenis leukosit melalui pembuatan dan pewarnaan hapusan darah.
- l. Melakukan evaluasi morfologi eritrosit, leukosit, dan trombosit pada hapusan darah tepi.
- m. Menjelaskan prinsip dan prosedur pemeriksaan fragilitas osmotik eritrosit serta interpretasi hasilnya.

## **B. Definisi**

Pemeriksaan hematologi rutin adalah serangkaian pemeriksaan laboratorium dasar yang bertujuan untuk mengevaluasi komponen seluler dalam darah, seperti sel eritrosit, sel leukosit, dan sel trombosit. Pemeriksaan hematologi rutin memberikan gambaran awal tentang kondisi Kesehatan seseorang. Pemeriksaan hematologi rutin juga berfungsi untuk membantu diagnosis suatu penyakit, mengetahui

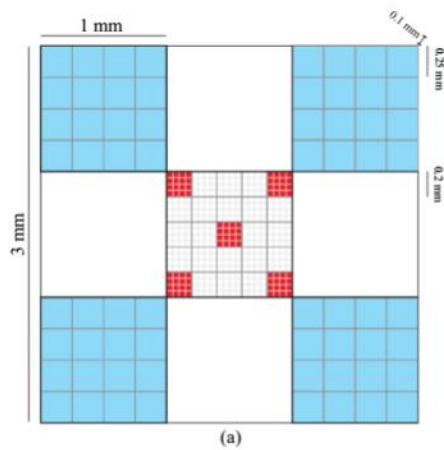
perjalanan penyakit, serta memantau respons terapi terhadap pasien. Parameter yang umumnya termasuk dalam pemeriksaan ini adalah kadar hemoglobin (Hb), hematokrit (HCT), hitung jumlah eritrosit, leukosit, dan trombosit serta indeks eritrosit (Arsyad, 2025). Pemeriksaan hematologic lanjutan adalah serangkaian pemeriksaan laboratorium yang dilakukan untuk mendapatkan informasi yang lebih spesifik terhadap suatu penyakit. Misalnya pemeriksaan laju endap darah, retikulosit, fragilitas osmotik dan lain-lain (Tanjung, 2024).

### **C. Cara Kerja**

1. Pemeriksaan haemoglobin metode sianmethemoglobin
  - a. Menyiapkan alat : fotometer, tabung reaksi, mikropipet 1000  $\mu\text{l}$ , mikropipet 20  $\mu\text{l}$ , tips kuning, tips biru dan reagen drabkins.
  - b. Menyiapkan 2 tabung reaksi kemudian pipet reagen drabkins sebanyak 5 mL menggunakan mikropipet 1000  $\mu\text{l}$ , dan memasukkan ke dalam tabung reaksi, satu tabung reaksi sebagai blanko, satu tabung reaksi untuk sampel
  - c. Memipet darah sebanyak 20  $\mu\text{l}$  menggunakan mikropipet 20  $\mu\text{l}$ , bersihkan darah yang menempel pada bagian luar tips kuning dengan tisu.

- d. Masukkan darah 20  $\mu$ l tadi ke dalam tabung reaksi yang sudah terdapat reagen drabkins.
  - e. Homogenkan reagent drabkins dengan darah yang sudah dicampurkan tadi, lakukan inkubasi selama 3 menit pada suhu ruangan.
  - f. Reaksi warna dari pencampuran larutan drabkins dan darah diukur dengan menggunakan fotometer yang sudah di atur panjang gelombangnya 540 nm (Aini, 2021) .
2. Pemeriksaan hematokrit metode mikrohematokrit
- a. Siapkan alat : centrifugasi mikrohematokrit, tabung kapiler, plastisin, reader mikrohematokrit, dan sampel darah EDTA
  - b. Masukkan darah ke dalam tabung kapiler dengan cara memiringkan tabung reaksi yang berisi darah EDTA 45<sup>o</sup> dan masukkan tabung kapiler pada tabung reaksi dengan cara dimiringkan kemudian di goyang perlahan supaya darah bias masuk kedalam tabung kapiler sapai memenuhi 2/3 tabung kapiler.
  - c. Ujung tabung kapiler bagian bawah yang sudah terdapat darah di sumbat dengan plastisin.
  - d. Masukkan tabung kapiler tadi kedalam centrifuge mikrohematorkrit, ujung yang disumbat dengan plastisin berada ke arah luar. Atur centrifuge dengan kecepatan 8.000 rpm selama 10 menit.

- e. Hasil centrifuge tabung kapiler diukur menggunakan skala hematokrit, ukur tinggi darah kemudian tulis hasil dengan satuan % (Aliviameita & Puspitasari, 2024)
3. Pemeriksaan jumlah leukosit
    - a. Menyiapkan alat : mikroskop, kamar hitung, mikropipet, tabung reaksi dan bahan : Turk, darah EDTA
    - b. Reagen turk dipipet sebanyak 380  $\mu$ l masukkan kedalam tabung reaksi.
    - c. Darah dipipet sebanyak 20  $\mu$ l, dicampurkan dengan reagen turk di dalam tabung reaksi tadi.
    - d. Homogenkan tabung reaksi agar darah beraksi dengan reagen turk (melisiskan eritrosit dan memberikan warna pada leukosit).
    - e. Siapkan kamar hitung dengan meletakkan pada meja yang datar, letakkan kaca penutup di atas kamar hitung.
    - f. Pipet darah yang sudah homogen dengan reagen turk sebanyak 10 – 15  $\mu$ l, letakkan ujung tips ditepi kaca penutup pada kamar hitung keluarkan cairan secara perlahan.
    - g. Diamkan selama 2-3 menit supaya sel leukosit tidak bergerak dan menyebar dengan baik.
    - h. Hitung jumlah leukosit dengan mikroskop pada perbesaran 10 x 10 (Sakdiah, 2024)



Gambar 2.1 Kamar hitung warna biru tempat hitung jumlah leukosit dan merah untuk hitung jumlah eritrosit (Hardian, Nugrahani, Rahmawati, & Megarani, 2020)

4. Pemeriksaan jumlah eritrosit
  - a. Menyiapkan alat : mikroskop, kamar hitung, mikropipet, tabung reaksi dan bahan : hayem, darah EDTA
  - b. Reagen hayem dipipet sebanyak 995  $\mu\text{l}$  masukkan kedalam tabung reaksi.
  - c. Darah dipipet sebanyak 5  $\mu\text{l}$ , dicampurkan dengan reagen hayem di dalam tabung reaksi tadi.
  - d. Homogenkan tabung reaksi agar darah beraksi dengan reagen hayem (melisiskan leukosit).

- e. Siapkan kamar hitung dengan meletakkan pada meja yang datar, letakkan kaca penutup di atas kamar hitung.
  - f. Pipet darah yang sudah homogen dengan reagen hayem sebanyak 10 – 15  $\mu$ l, letakkan ujung tips ditepi kaca penutup pada kamar hitung keluarkan cairan secara perlahan.
  - g. Diamkan selama 2-3 menit supaya sel eritrosit tidak bergerak dan menyebar dengan baik.
  - h. Hitung jumlah eritrosit dengan mikroskop pada perbesaran 10 x 40 pada 5 kotak eritrosit (Ayanti, 2025).
5. Pemeriksaan jumlah trombosit
- a. Menyiapkan alat : mikroskop, kamar hitung, mikropipet, tabung reaksi dan bahan : rees ecker, darah EDTA
  - b. Reagen rees ecker dipipet sebanyak 995  $\mu$ l masukkan kedalam tabung reaksi.
  - c. Darah dipipet sebanyak 5  $\mu$ l, dicampurkan dengan reagen rees ecker di dalam tabung reaksi tadi.
  - d. Homogenkan tabung reaksi agar darah beraksi dengan reagen hayem (melisiskan leukosit).
  - e. Siapkan kamar hitung dengan meletakkan pada meja yang datar, letakkan kaca penutup di atas kamar hitung.

- f. Pipet darah yang sudah homogen dengan reagen rees ecker sebanyak 10 – 15  $\mu$ l, letakkan ujung tips ditepi kaca penutup pada kamar hitung keluarkan cairan secara perlahan.
  - g. Masukkan kamar hitung ke dalam cawan petri yang sudah terdapat tisu yang dibasahi dengan air.
  - h. Diamkan selama 15 menit supaya sel trombosit tidak bergerak dan menyebar dengan baik.
  - i. Hitung jumlah trombosit dengan mikroskop pada perbesaran 10 x 40 pada kotak trombosit (Arsyad, 2025).
6. Pemeriksaan indeks eritrosit
- Pemeriksaan indeks eritrosit ditetapkan dari hasil pemeriksaan haemoglobin, hematokrit dan hitung jumlah eritrosit berdasarkan perhitungan. Indeks eritrosit diantaranya Mean Corpuscular Volume (MCV), Mean Corpuscular Hemoglobin (MCH), dan Mean Corpuscular Hemoglobin Concentration (MCHC). Indeks eritrosit sangat berguna untuk klasifikasi anemia. Berikut rumus perhitungan indeks eritrosit:

$$MCV = \frac{\text{Hematokrit (\%)}}{\text{Jumlah eritrosit(juta)}} \times 10$$

$$MCH = \frac{\text{Hemoglobin}}{\text{Jumlah eritrosit(juta)}} \times 10$$

$$MCHC = \frac{\text{Hemoglobin}}{\text{Hematokrit}} \times 100\%$$

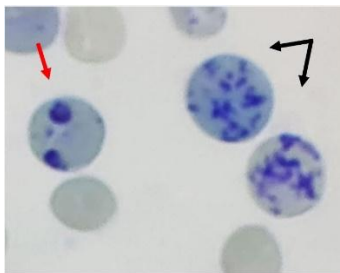
7. Pemeriksaan Laju Endap Darah metode Westergren
  - a. Siapkan alat: tabung reaksi, tabung westergren, rak tabung westergren, pump pipet dan bahan : NaCl 0,85%.
  - b. Reagen NaCl 0,85% dipipet menggunakan pipet westergren sampai tanda 150, kemudian masukkan ke dalam tabung reaksi.
  - c. Darah dipipet menggunakan pipet westergren sapa i tanda 0, kemudian di masukkan ke dalam tabung reaksi yang sudah terdapat reagen NaCl 0,85%.
  - d. Campurkan darah dengan reagen NaCl 0,85% sampai homogen (perbandingan darah dengan reagen 4 : 1).
  - e. Pipet kembali campuran reagen dan darah menggunakan pipet westergren sampai tanda 0.
  - f. Letakkan pipet westergren pada arak westergren dimakan selama 1 jam.
  - g. Baca hasil pemeriksaan laju endap darah dengan mengamati skala pada tabung westergren antara tinggi plasma dan darah,

kemudian nyatakan dalam mm/jam (Dewi, 2024).

8. Pemeriksaan hitung jumlah retikulosit

Metode kering :

- a. Siapkan alat : mikroskop, tabung reaksi, pipet, objek glass, dan reagen : brilliant cresyl blue
- b. Pipet brilliant cresyl blue sebanyak 0,5 ml masukkan ke dalam tabung reaksi.
- c. Pipet darah kemudian teteskan sebanyak 5 tetes ke dalam tabung reaksi yang sudah terdapat reagen brilliant cresyl blue.
- d. Inkubasi selama 5 menit agar retikulosit terwarnai.
- e. Buat hapusan darah yang baik dengan menggunakan reagen yang sudah di tambahkan darah tadi
- f. Lakukan pengamatan dengan mikroskop dengan perbesaran 100 dan hitung jumlah retikulosit per 1000 eritrosit (Kurniawan, Sari, Komara, & Shari, 2022) .

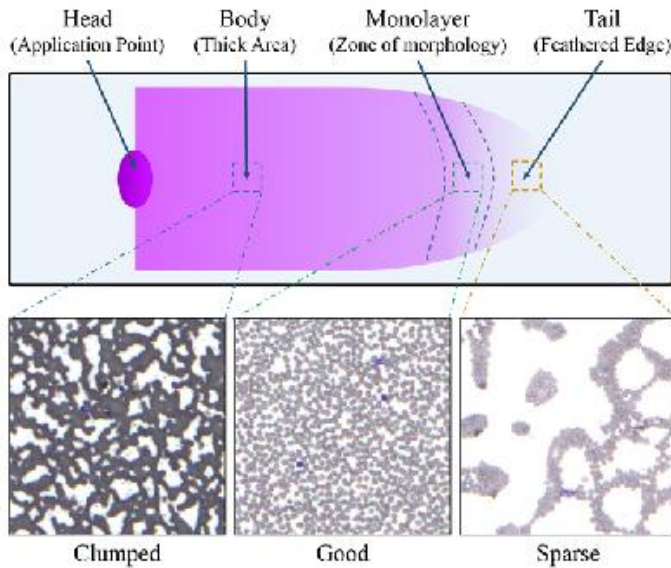


Gambar 2.2 retikulosit (Abdrhman, 2024)

Metode basah:

- a. Pipet reagen brilliant cresyl blue dan darah (perbandingan 1:1).
  - b. Campurkan darah dan reagen brilliant cresyl blue sampai homogeny, kemudian lakukan inkubasi selama 15 – 30 menit pada suhu 37<sup>o</sup> C.
  - c. Selesai diinkubasi, pipet secukupnya kemudian teteskan pada objek glass sebanyak 1 tetes.
  - d. Gunakan cover glass untuk menutup tetesan pada objek glass.
  - e. Lakukan pemeriksaan dengan mikroskop perbesaran 10 x 40
  - f. Jumlah retikulosit dihitung per 1000 eritrosit (Kurniawan, 2016).
9. Pemeriksaan hitung jenis leukosit
- a. Siapkan alat: mikroskop, pipet tetes, objek glass, dan reagen : giemsa, buffer, methanol 96%.
  - b. Teteskan darah pada objek glass secukupnya.
  - c. Gunakan sudut objek glass yang lain untuk digunakan sebagai penghapus
  - d. Letakkan objekglass penghapus di tengah dengan sudut 45<sup>o</sup>.
  - e. Tarik objekglass menuju tetesan darah sampai menyentuh darah, biarkan darah menyebar.

- f. Dorong objekglass secara perlahan agar darah menyebar membentuk hapusan darah.
- g. Letakkan hapusan di tempat yang bersih, terhindar dari serangga sampai hapusan kering.



Gambar 2.3 Hapusan Darah Yang Baik ( (Jahanifar, Hasani, & Khaleghi, 2016)

- h. Letakkan hapusan darah di rak pewarnaan.
- i. Pipet reagen methanol teteskan pada hapusan darah diamkan selama 3 menit, diamkan sampai methanol menguap.
- j. Pipet reagen giemsa yang sudah di encerkan (1:9) teteskan pada hapusan darah, diamkan selama 15 menit.