

## Interaksi Sistem Imun dan Hematologi dalam Mekanisme Pertahanan Tubuh: Tinjauan Immunobiologi

Hilya Saputri<sup>1</sup>, Syalwa Arsa<sup>2</sup>, Firdus<sup>3</sup>, Rosnizar<sup>4</sup>

Departemen Biologi, Fakultas MIPA, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh, Indonesia

\*Email Korespodensi: [firdus.usk@gmail.com](mailto:firdus.usk@gmail.com)

### Sejarah Artikel:

Diterima 27-05-2026  
Disetujui 05-06-2026  
Diterbitkan 07-06-2026

### ABSTRACT

*The immune system and the hematological system are closely interconnected biological systems that play essential roles in maintaining homeostasis and protecting the body against pathogens. This study aimed to comprehensively examine the interaction between the immune and hematological systems from an immunobiological perspective. The study employed a literature review method by analyzing scientific articles published between 2015 and 2025 from national and international journals. The findings indicate that leukocytes, platelets, erythrocytes, and plasma components contribute significantly to immune regulation and defense mechanisms. Cellular interactions involving immune cells, inflammatory mediators, and hematopoietic processes facilitate coordinated responses to infection and tissue injury. Platelets participate in immune signaling and inflammation, while erythrocytes contribute to immune modulation through complement interactions and inflammatory regulation. Furthermore, hematological parameters can serve as important indicators of immune responses in infectious and inflammatory diseases. Overall, the integration of immune and hematological systems is crucial for maintaining physiological balance and supporting effective host defense mechanisms. Understanding this relationship may contribute to the development of improved diagnostic, prognostic, and therapeutic strategies for various diseases.*

**Keywords:** Immune System; Hematology; Immunobiology

### ABSTRAK

Sistem imun dan sistem hematologi merupakan dua sistem biologis yang saling terintegrasi dan berperan penting dalam menjaga homeostasis serta melindungi tubuh dari berbagai ancaman patogen. Penelitian ini bertujuan mengkaji secara komprehensif interaksi antara sistem imun dan sistem hematologi dalam mekanisme pertahanan tubuh dari perspektif immunobiologi. Metode yang digunakan adalah studi literatur dengan menelaah berbagai artikel ilmiah yang dipublikasikan pada jurnal nasional dan internasional periode 2015–2025. Hasil kajian menunjukkan bahwa leukosit, trombosit, eritrosit, dan komponen plasma memiliki kontribusi penting dalam regulasi respon imun dan mekanisme pertahanan tubuh. Interaksi seluler antara sel-sel imun, mediator inflamasi, dan proses hematopoiesis memungkinkan tubuh merespon infeksi dan kerusakan jaringan secara terkoordinasi. Trombosit berperan dalam respon inflamasi dan komunikasi imun, sedangkan eritrosit berkontribusi dalam modulasi imun melalui interaksi dengan sistem komplemen dan regulasi inflamasi. Selain itu, berbagai parameter hematologi dapat digunakan sebagai indikator penting dalam menilai respon imun pada kondisi infeksi maupun inflamasi. Secara keseluruhan, integrasi sistem imun dan hematologi merupakan komponen penting dalam mempertahankan keseimbangan fisiologis dan efektivitas pertahanan tubuh terhadap penyakit.

**Katakunci:** Sistem Imun; Hematologi; Immunobiologi

**Bagaimana Cara Sitasi Artikel ini:**

Saputri, H. ., Arsa, S., Firdus, F., & Rosnizar, R. (2026). Interaksi Sistem Imun dan Hematologi dalam Mekanisme Pertahanan Tubuh: Tinjauan Immunobiologi. Jejak Digital: Jurnal Ilmiah Multidisiplin, 2(4), 5190-5201. <https://doi.org/10.63822/gaawrg68>

## PENDAHULUAN

Sistem pertahanan tubuh manusia merupakan suatu sistem biologis yang kompleks dan terintegrasi, yang berfungsi untuk melindungi tubuh dari berbagai ancaman eksternal seperti mikroorganisme patogen, toksin, maupun sel abnormal. Dalam menjalankan fungsinya, sistem ini tidak bekerja secara tunggal, melainkan melibatkan koordinasi erat antara berbagai sistem, terutama sistem imun dan sistem hematologi. Sistem imun berperan sebagai mekanisme pertahanan utama melalui respon imun bawaan (*innate immunity*) dan respon imun adaptif (*adaptive immunity*), sedangkan sistem hematologi menyediakan komponen seluler dan molekuler yang menjadi mediator utama dalam proses tersebut. Interaksi antara kedua sistem ini mencerminkan suatu hubungan fungsional yang dinamis, di mana sel-sel darah dan mediator kimia dalam sirkulasi berperan aktif dalam mendeteksi, merespon, dan mengeliminasi patogen (Dewi *et al.*, 2025).

Sutanto *et al.*, (2024) menyatakan bahwa sistem hematologi tidak hanya berfungsi sebagai sistem transportasi zat-zat dalam tubuh, tetapi juga memiliki peran sentral dalam mendukung respon imun. Komponen utama darah seperti leukosit, eritrosit, dan trombosit memiliki kontribusi yang berbeda namun saling melengkapi dalam mekanisme pertahanan tubuh. Leukosit berperan sebagai efektor utama dalam respon imun dengan kemampuan fagositosis, produksi antibodi, serta sekresi sitokin. Sementara itu, trombosit yang sebelumnya lebih dikenal dalam proses hemostasis, kini diketahui memiliki peran penting dalam respon inflamasi dan interaksi imun. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa perubahan parameter hematologi, seperti peningkatan jumlah leukosit atau rasio neutrofil-limfosit, dapat digunakan sebagai indikator adanya respon imun terhadap infeksi atau kondisi inflamasi tertentu.

Lebih lanjut, interaksi antara sistem imun dan hematologi dapat diamati secara jelas dalam mekanisme inflamasi, yang merupakan respon awal tubuh terhadap cedera atau infeksi. Proses inflamasi melibatkan aktivasi sel imun, pelepasan mediator kimia seperti sitokin dan kemokin, serta perubahan pada pembuluh darah yang memungkinkan migrasi sel darah putih menuju ke tempat infeksi. Dalam konteks ini, sistem hematologi berperan dalam menyediakan sel-sel imun yang diproduksi di sumsum tulang melalui proses hematopoiesis. Aktivitas hematopoiesis sendiri dapat meningkat secara signifikan selama infeksi, sebagai bentuk adaptasi tubuh untuk memenuhi kebutuhan sel imun. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat hubungan timbal balik antara sistem imun dan sistem hematologi dalam mempertahankan keseimbangan fisiologis tubuh (Safitri *et al.*, 2025).

Interaksi kedua sistem ini juga menjadi sangat penting dalam kondisi patologis, seperti infeksi virus, penyakit autoimun, dan gangguan hematologi. Sebagai contoh, pada infeksi virus seperti COVID-19, terjadi perubahan signifikan pada parameter hematologi yang berkaitan erat dengan respon imun tubuh. Penurunan jumlah limfosit (*limfopenia*), peningkatan neutrofil, serta perubahan kadar biomarker inflamasi seperti D-dimer dan C-reactive protein menunjukkan adanya aktivasi sistem imun yang berlebihan (*hyperinflammation*). Kondisi ini tidak hanya mencerminkan respon tubuh terhadap infeksi, tetapi juga menjadi indikator prognostik terhadap tingkat keparahan penyakit. Oleh karena itu, pemeriksaan hematologi menjadi salah satu alat penting dalam evaluasi klinis pasien dengan gangguan imun (Sabatudung *et al.*, 2023).

Selain dalam kondisi infeksi akut, hubungan antara sistem imun dan hematologi juga berperan dalam penyakit kronis dan degeneratif. Gangguan pada sistem hematologi, seperti anemia, leukemia, dan trombositopenia, dapat memengaruhi efektivitas respon imun tubuh. Sebaliknya, aktivasi sistem imun yang tidak terkontrol, seperti pada penyakit autoimun, dapat menyebabkan kerusakan pada komponen darah dan jaringan hematopoietik. Penelitian klinis menunjukkan bahwa perubahan profil hematologi sering kali

berkorelasi dengan progresivitas penyakit dan risiko komplikasi, sehingga pemahaman terhadap interaksi kedua sistem ini menjadi penting dalam pengembangan strategi diagnosis dan terapi yang lebih efektif (Firani *et al.*, 2024).

Interaksi antara sistem imun dan hematologi merupakan suatu aspek fundamental dalam mekanisme pertahanan tubuh yang bersifat kompleks dan multidimensional. Keterkaitan antara kedua sistem ini tidak hanya penting dalam menjaga homeostasis, tetapi juga dalam menentukan respon tubuh terhadap berbagai kondisi patologis. Oleh karena itu, perlu untuk memahami secara lebih mendalam hubungan antara sistem imun dan hematologi dari perspektif imunobiologi.

Berbagai penelitian sebelumnya telah mengkaji hubungan antara sistem imun dan sistem hematologi pada kondisi penyakit tertentu. Dewi *et al.* (2025) menyoroti sinergi sistem hematologi dan imunologi dalam pertahanan tubuh, sedangkan Sutanto *et al.* (2024) meneliti perubahan parameter hematologi yang berkaitan dengan respon inflamasi pada pasien pneumonia. Penelitian lain oleh Sabatudung *et al.* (2023) menunjukkan bahwa perubahan parameter hematologi dapat digunakan sebagai indikator keparahan infeksi COVID-19, sementara Firani *et al.* (2024) mengkaji hubungan profil hematologi dengan komplikasi pada penyakit kronis. Meskipun demikian, sebagian besar penelitian tersebut masih berfokus pada perubahan hematologi dalam kondisi penyakit tertentu dan belum membahas secara komprehensif mekanisme integrasi antara sistem imun dan sistem hematologi dari perspektif imunobiologi. Oleh karena itu, diperlukan suatu kajian yang mengintegrasikan berbagai temuan penelitian tersebut untuk memberikan pemahaman yang lebih menyeluruh mengenai peran dan interaksi kedua sistem dalam mekanisme pertahanan tubuh.

Artikel ini bertujuan untuk mengkaji secara komprehensif interaksi antara sistem imun dan sistem hematologi dalam mekanisme pertahanan tubuh. Secara khusus, penelitian ini bertujuan untuk: (1) menjelaskan komponen utama sistem imun dan sistem hematologi yang berperan dalam pertahanan tubuh; (2) menganalisis mekanisme interaksi antara kedua sistem dalam proses inflamasi dan respon imun; (3) mengkaji peran leukosit, trombosit, dan eritrosit dalam regulasi respon imun; serta (4) mengevaluasi implikasi klinis dari interaksi sistem imun dan hematologi dalam diagnosis, prognosis, dan terapi berbagai penyakit.

## **METODE PENELITIAN**

Penelitian ini menggunakan metode studi literatur dengan menelaah berbagai artikel ilmiah yang dipublikasikan pada jurnal nasional dan internasional. Literatur diperoleh melalui database ilmiah seperti Google Scholar, ScienceDirect, dan ResearchGate. Artikel yang digunakan merupakan publikasi dalam rentang tahun 2015–2025 yang relevan dengan topik interaksi sistem imun dan hematologi dalam mekanisme pertahanan tubuh. Artikel dipilih berdasarkan relevansi terhadap topik penelitian, kemudian dianalisis secara deskriptif untuk mengkaji peran, interaksi, dan mekanisme kerja sistem imun dan hematologi dalam pertahanan tubuh.

## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

### **1. Komponen Utama Sistem Imun dan Hematologi**

Dari penelitian Karine *et al.*, (2020) menyatakan bahwa sistem hematologi dan sistem imun merupakan dua sistem biologis yang saling terintegrasi dalam menjaga homeostasis dan pertahanan tubuh. Berdasarkan

berbagai hasil penelitian, darah tidak hanya berfungsi sebagai media transportasi, tetapi juga sebagai komponen aktif dalam respon imun, karena mengandung berbagai sel dan molekul yang berperan langsung dalam mekanisme pertahanan tubuh. Interaksi ini terutama terjadi melalui sel-sel darah seperti leukosit, eritrosit, dan trombosit, serta komponen plasma yang membawa mediator imun seperti sitokin dan antibodi. Selain itu, trombosit yang dikenal dalam proses hemostasis juga memiliki peran penting dalam imunobiologi. Studi terbaru menunjukkan bahwa trombosit dapat menghasilkan sitokin, berinteraksi dengan leukosit, serta berpartisipasi dalam respon inflamasi dan infeksi. Hal ini menunjukkan adanya hubungan erat antara sistem pembekuan darah dan sistem imun, terutama dalam kondisi patologis seperti infeksi dan inflamasi sistemik (Jeremy *et al.*, 2026).

Marshall *et al.*, (2018) dalam penelitiannya menjelaskan bahwa leukosit merupakan komponen utama yang menghubungkan sistem hematologi dengan sistem imun. Berdasarkan hasil penelitian imunologi modern, leukosit terdiri dari beberapa jenis seperti neutrofil, limfosit, monosit, eosinofil, dan basofil yang masing-masing memiliki fungsi spesifik. Neutrofil dan makrofag berperan dalam fagositosis patogen, sedangkan limfosit B dan T berperan dalam imunitas adaptif, termasuk produksi antibodi dan respon imun spesifik terhadap antigen. Aktivitas leukosit ini menunjukkan bahwa darah berfungsi sebagai jalur utama distribusi dan aktivasi respon imun dalam tubuh.

Selain itu, trombosit yang dikenal dalam proses hemostasis juga memiliki peran penting dalam imunobiologi. Studi terbaru menunjukkan bahwa trombosit dapat menghasilkan sitokin, berinteraksi dengan leukosit, serta berpartisipasi dalam respon inflamasi dan infeksi. Hal ini menunjukkan adanya hubungan erat antara sistem pembekuan darah dan sistem imun, terutama dalam kondisi patologis seperti infeksi dan inflamasi sistemik (Hashimi & Kevin, 2019). Menurut Nagaraj *et al.*, (2015) menyatakan bahwa plasma darah juga berperan sebagai komponen penting dalam integrasi kedua sistem ini. Plasma mengandung berbagai protein seperti imunoglobulin, komplemen, dan sitokin yang berfungsi dalam komunikasi antar sel imun serta regulasi respon inflamasi. Dengan demikian, plasma tidak hanya menjadi media transportasi, tetapi juga sebagai lingkungan biokimia yang mendukung aktivitas imunologis.

## 2. Interaksi Seluler antara Sistem Imun dan Darah

Interaksi seluler antara sistem imun dan sistem hematologi merupakan inti dari mekanisme pertahanan tubuh yang bersifat dinamis dan terkoordinasi. Berdasarkan berbagai penelitian, sel-sel darah tidak hanya berfungsi sebagai komponen sirkulasi, tetapi juga sebagai aktor aktif dalam respon imun melalui komunikasi langsung antar sel dan melalui mediator kimia. Leukosit, sebagai komponen utama sistem imun, menggunakan sistem peredaran darah untuk bermigrasi menuju lokasi infeksi melalui proses *leukocyte trafficking* yang diatur oleh molekul adhesi dan kemokin. Proses ini memungkinkan respon imun berlangsung secara cepat dan terarah terhadap patogen (Marshall *et al.*, 2018).

Salah satu bentuk interaksi seluler yang paling penting adalah antara neutrofil dan endotel vaskular. Penelitian menunjukkan bahwa neutrofil akan mengalami proses *rolling*, *adhesion*, dan *transmigrasi* saat berpindah dari aliran darah ke jaringan yang terinfeksi. Interaksi ini dimediasi oleh selektin dan integrin yang memungkinkan neutrofil menempel pada dinding pembuluh darah sebelum masuk ke jaringan. Setelah mencapai lokasi infeksi, neutrofil melakukan fagositosis dan menghasilkan *reactive oxygen species (ROS)* untuk menghancurkan patogen. Mekanisme ini menunjukkan keterlibatan langsung sistem hematologi dalam respon imun bawaan (Karine *et al.*, 2020).

Interaksi antara monosit/makrofag dan limfosit juga merupakan aspek penting dalam integrasi sistem imun dan darah. Monosit yang beredar dalam darah dapat bermigrasi ke jaringan dan berdiferensiasi

menjadi makrofag atau sel dendritik. Sel-sel ini berfungsi sebagai *antigen-presenting cells (APC)* yang akan memproses antigen dan menyajikannya kepada limfosit T, sehingga mengaktifkan respon imun adaptif. Aktivasi ini melibatkan interaksi kompleks antara reseptor sel T (TCR) dan kompleks MHC pada APC, yang kemudian memicu proliferasi dan diferensiasi limfosit (Aguilar *et al.*, 2020).

Barbouche *et al.*, (2017) juga menyatakan bahwa selain interaksi langsung antar sel, komunikasi juga terjadi melalui mediator kimia seperti sitokin dan kemokin yang disekresikan oleh sel imun dalam darah. Sitokin seperti interleukin (IL-1, IL-6) dan tumor necrosis factor (TNF- $\alpha$ ) berperan dalam mengatur respon inflamasi, sementara kemokin mengarahkan migrasi sel imun ke lokasi infeksi. Molekul-molekul ini beredar dalam plasma darah dan memungkinkan koordinasi respon imun secara sistemik. Hal ini menunjukkan bahwa interaksi antara sistem imun dan hematologi tidak hanya bersifat seluler, tetapi juga molekuler.

### 3. Peran Trombosit dalam Imunitas

Interaksi antara sel darah seperti leukosit dan trombosit dalam sistem imun dapat dilihat pada kondisi infeksi, di mana terjadi perubahan jumlah dan fungsi sel-sel tersebut sebagai respon terhadap patogen. Penelitian pada kasus demam dengue menunjukkan adanya hubungan antara jumlah leukosit dan trombosit sebagai bagian dari respon tubuh terhadap infeksi virus, yang mencerminkan adanya koordinasi antara sistem imun dan sistem hematologi dalam menghadapi agen infeksius (Mulyatmo *et al.*, 2023).

Trombosit juga dapat berinteraksi secara langsung dengan neutrofil melalui pembentukan *platelet-neutrophil aggregates (PNAs)*. Interaksi ini merangsang pembentukan *neutrophil extracellular traps (NETs)*, yaitu jaring ekstraseluler yang berfungsi menangkap dan membunuh mikroorganisme patogen. Mekanisme tersebut sangat penting dalam pertahanan tubuh terhadap infeksi bakteri maupun virus, meskipun aktivasi berlebihan dapat menyebabkan kerusakan jaringan dan trombosis (Rayes *et al.*, 2020).

Pada infeksi virus seperti COVID-19 dan dengue, trombosit mengalami perubahan fungsi yang signifikan. Aktivasi trombosit yang berlebihan berkontribusi terhadap peningkatan respon inflamasi sistemik serta gangguan koagulasi yang sering ditemukan pada pasien dengan infeksi berat. Temuan ini menunjukkan bahwa trombosit berperan sebagai penghubung utama antara sistem imun dan sistem hemostasis (Manne *et al.*, 2020).

### 4. Peran Eritrosit dalam Modulasi Imun

Eritrosit berperan dalam sistem imun secara tidak langsung, terutama sebagai target dan media interaksi dalam berbagai penyakit infeksi. Pada kasus malaria, eritrosit menjadi tempat berkembangnya parasit *Plasmodium*, yang menunjukkan bahwa eritrosit memiliki peran penting dalam dinamika respon imun terhadap infeksi (Junianda *et al.*, 2023). Selain itu, perubahan pada komponen darah termasuk eritrosit juga dapat terjadi akibat respon imun terhadap infeksi bakteri seperti tifoid, di mana endotoksin mempengaruhi produksi sel darah di sumsum tulang. Hal ini menunjukkan bahwa eritrosit turut terlibat dalam respon sistemik tubuh terhadap infeksi, meskipun tidak secara langsung sebagai sel imun (Loviana *et al.*, 2023).

Meskipun eritrosit tidak termasuk sel imun, penelitian terbaru menunjukkan bahwa eritrosit memiliki kemampuan untuk memodulasi respon imun melalui berbagai mekanisme. Eritrosit mengekspresikan Complement Receptor 1 (CR1) yang dapat mengikat kompleks imun dan komponen komplemen, sehingga membantu proses pembersihan antigen dari sirkulasi darah menuju hati dan limpa untuk dieliminasi. Mekanisme ini berkontribusi dalam mencegah akumulasi kompleks imun yang dapat merusak jaringan

(Anderson et al., 2018).

Selain itu, eritrosit berperan dalam regulasi inflamasi melalui pengikatan sitokin proinflamasi dan molekul oksidan. Eritrosit juga berfungsi sebagai reservoir nitrit dan nitric oxide (NO) yang berperan dalam mempertahankan fungsi vaskular selama proses inflamasi. Oleh karena itu, eritrosit tidak hanya berfungsi sebagai pengangkut oksigen, tetapi juga sebagai regulator lingkungan imunologis dalam sirkulasi darah (Pretini et al., 2019).

## **5. Mekanisme Inflamasi dan Respon Imun**

Inflamasi merupakan respon biologis yang terjadi ketika tubuh mendeteksi adanya infeksi, cedera jaringan, atau paparan zat asing. Respon ini diawali oleh aktivasi sel-sel imun bawaan seperti makrofag, neutrofil, dan sel dendritik yang kemudian melepaskan sitokin proinflamasi, termasuk interleukin-1 $\beta$  (IL-1 $\beta$ ), interleukin-6 (IL-6), dan tumor necrosis factor-alpha (TNF- $\alpha$ ). Sitokin tersebut menyebabkan peningkatan permeabilitas vaskular dan rekrutmen leukosit menuju lokasi inflamasi (Chen et al., 2017).

Selama proses inflamasi, sumsum tulang meningkatkan produksi leukosit melalui mekanisme emergency hematopoiesis. Peningkatan produksi neutrofil dan monosit memungkinkan tubuh merespon infeksi secara lebih efektif. Namun, apabila inflamasi berlangsung kronis, proses ini dapat menyebabkan gangguan hematopoiesis dan berkontribusi terhadap berbagai penyakit inflamasi kronis seperti aterosklerosis, diabetes, dan penyakit autoimun (Manz & Boettcher, 2014; Mitroulis et al., 2018).

Penelitian terbaru menunjukkan bahwa parameter hematologi seperti neutrophil-to-lymphocyte ratio (NLR), platelet-to-lymphocyte ratio (PLR), dan mean platelet volume (MPV) dapat digunakan sebagai biomarker inflamasi yang sensitif dalam berbagai kondisi penyakit, termasuk infeksi, kanker, dan penyakit kardiovaskular (Gasparyan et al., 2019). Kondisi hipertensi yang disertai inflamasi, indeks trombosit dan rasio trombosit-limfosit dapat digunakan sebagai indikator inflamasi, yang menunjukkan bahwa sistem hematologi memiliki peran dalam mendeteksi dan mencerminkan aktivitas inflamasi dalam tubuh (Taggara et al., 2019).

## **6. Keterlibatan Sistem Hematologi dalam Infeksi dan Penyakit**

Sistem hematologi berperan penting dalam mendeteksi dan merespon berbagai penyakit infeksi. Perubahan jumlah leukosit, trombosit, dan eritrosit sering digunakan sebagai indikator klinis untuk mengevaluasi tingkat keparahan infeksi. Pada infeksi bakteri akut, biasanya terjadi leukositosis akibat peningkatan produksi neutrofil. Sebaliknya, pada beberapa infeksi virus seperti dengue dan COVID-19 dapat ditemukan trombositopenia dan limfopenia yang mencerminkan keterlibatan sistem imun dalam proses penyakit (Lippi & Plebani, 2020).

Pada kasus sepsis, aktivasi sistem imun yang berlebihan menyebabkan pelepasan sitokin dalam jumlah besar atau cytokine storm. Kondisi ini memicu gangguan hematologi berupa koagulasi intravaskular diseminata (Disseminated Intravascular Coagulation/DIC), trombositopenia, dan anemia inflamasi. Oleh karena itu, pemeriksaan hematologi menjadi alat penting dalam menentukan prognosis dan keberhasilan terapi pada pasien infeksi berat (Delano & Ward, 2016).

Selain infeksi, berbagai penyakit autoimun juga menunjukkan keterkaitan erat antara sistem imun dan hematologi. Misalnya pada lupus eritematosus sistemik (SLE), respon imun yang abnormal dapat menyebabkan anemia hemolitik, leukopenia, dan trombositopenia akibat penghancuran sel darah oleh autoantibodi (Tsokos, 2020).

Infeksi dengue terhadap penurunan trombosit menjadi salah satu indikator utama dalam diagnosis

dan pemantauan penyakit. Hal ini menunjukkan bahwa sistem hematologi tidak hanya berfungsi dalam sirkulasi darah, tetapi juga berperan dalam mekanisme pertahanan tubuh terhadap infeksi (Bahar et al., 2023).

## **7. Regulasi dan Homeostasis**

Homeostasis hematologi merupakan kondisi keseimbangan yang mempertahankan jumlah dan fungsi sel darah dalam batas normal. Keseimbangan ini diatur melalui proses hematopoiesis di sumsum tulang yang dikendalikan oleh berbagai sitokin dan growth factors seperti erythropoietin (EPO), granulocyte colony-stimulating factor (G-CSF), dan thrombopoietin (TPO) (Pinho & Frenette, 2019).

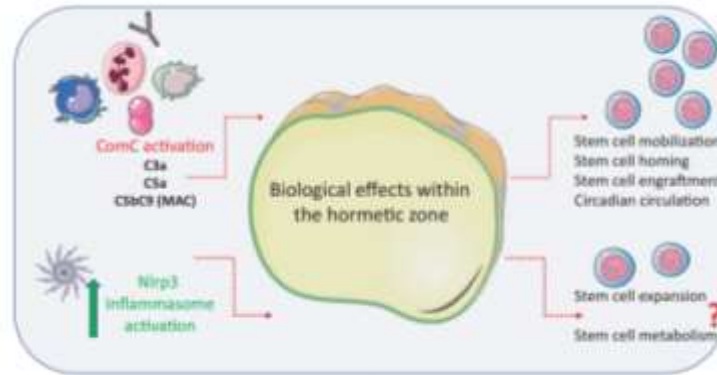
Sistem imun juga berperan dalam menjaga homeostasis hematologi. Dalam keadaan normal, sitokin antiinflamasi seperti IL-10 dan TGF- $\beta$  membantu mengontrol aktivitas imun agar tidak terjadi kerusakan jaringan. Sebaliknya, gangguan keseimbangan antara sitokin proinflamasi dan antiinflamasi dapat menyebabkan kelainan hematologis seperti anemia inflamasi kronis dan gangguan trombosit (Ginhoux & Guilliams, 2016).

Kestabilan jumlah trombosit juga dipengaruhi oleh faktor fisiologis seperti penyimpanan dan metabolisme, yang menunjukkan bahwa homeostasis sistem hematologi sangat penting dalam mendukung fungsi imun yang optimal (Hermawan et al., 2023). Hubungan timbal balik antara sistem imun dan hematopoiesis menunjukkan bahwa gangguan pada salah satu sistem dapat memengaruhi sistem lainnya. Oleh karena itu, homeostasis hematologi menjadi faktor penting dalam mempertahankan efektivitas pertahanan tubuh terhadap infeksi maupun penyakit lainnya.

## **8. Integrasi Sistem dalam Pertahanan Tubuh**

Sistem imun dan sistem hematologi bekerja sebagai satu kesatuan yang terintegrasi dalam mempertahankan homeostasis tubuh. Sel-sel darah yang diproduksi melalui hematopoiesis berfungsi sebagai komponen utama sistem imun, sedangkan mediator imun yang dihasilkan selama respon pertahanan tubuh dapat memengaruhi aktivitas hematologi. Hubungan dua arah ini memungkinkan tubuh merespon ancaman biologis secara cepat dan terkoordinasi (Netea et al., 2020).

Sistem hematologi menyediakan berbagai komponen seluler seperti leukosit, eritrosit, dan trombosit yang berfungsi sebagai mediator utama respon imun. Sebaliknya, sistem imun mengatur produksi, diferensiasi, dan aktivitas sel-sel darah melalui berbagai sitokin, kemokin, dan faktor pertumbuhan. Hubungan timbal balik ini memungkinkan tubuh merespons infeksi, cedera jaringan, dan gangguan fisiologis secara cepat dan efektif. Penelitian menunjukkan bahwa sel hematopoietik dan sel imun berasal dari hematopoietic stem cells (HSCs) yang sama di sumsum tulang, sehingga perkembangan kedua sistem tersebut berlangsung secara terintegrasi sejak tahap awal pembentukan sel (Ratajczak & Kucia, 2022).



**Gambar 1.** Efek trombosit terhadap neutrofil, monosit, inflamasi, dan infeksi  
Sumber : Ratajczak dan Kucia (2022).

Gambar ini menunjukkan bahwa aktivasi moderat sistem imun bawaan melalui mediator komplemen (C3a, C5a, dan C5b-C9) serta inflammasom NLRP3 memberikan efek menguntungkan terhadap hematopoiesis dalam "hormetic zone". Aktivasi tersebut berperan dalam mengatur mobilisasi, homing, engraftment, sirkulasi sirkadian, proliferasi, dan metabolisme hematopoietic stem/progenitor cells (HSPCs). Temuan ini menegaskan bahwa sistem imun dan sistem hematologi tidak bekerja secara terpisah, melainkan saling terintegrasi dalam mempertahankan homeostasis, regenerasi jaringan, dan mekanisme pertahanan tubuh.

## KESIMPULAN

Sistem imun dan sistem hematologi merupakan dua sistem biologis yang saling terintegrasi dan bekerja secara sinergis dalam mempertahankan homeostasis serta melindungi tubuh dari berbagai ancaman biologis. Interaksi keduanya melibatkan koordinasi berbagai komponen seluler dan molekuler, termasuk leukosit, trombosit, eritrosit, sitokin, dan faktor pertumbuhan yang berperan dalam deteksi, respon, dan eliminasi patogen. Selain berfungsi dalam proses hematopoiesis dan transportasi, sistem hematologi juga berkontribusi terhadap regulasi respon imun melalui mekanisme inflamasi, komunikasi antar sel, serta pemeliharaan keseimbangan fisiologis tubuh. Berbagai perubahan parameter hematologi yang terjadi pada kondisi infeksi, inflamasi, maupun penyakit autoimun menunjukkan bahwa sistem hematologi tidak hanya berperan sebagai indikator klinis, tetapi juga sebagai bagian aktif dari mekanisme pertahanan tubuh. Oleh karena itu, pemahaman mengenai hubungan timbal balik antara sistem imun dan hematologi menjadi penting dalam mendukung pengembangan strategi diagnosis, prognosis, dan terapi yang lebih efektif pada berbagai penyakit.

## DAFTAR PUSTAKA

Aguilar, X. F., Mana, M. Mattia, B., Gladys, K. Z., Margaret, D. Chrisostom, A., David, S. A., Michael, K., Jean, P. K. L., Mun, J. I. M., Andreu, C. C., Johan, E., Natascha, M., Oscar, C., Alexander, C., Amaud, B., Genevieve, L., Krupali, P., Satya, P., & Richard, P. (2020). Peste des Petits Ruminants

- at the Wildlife–Livestock Interface in the Northern Albertine Rift and Nile Basin, East Africa. *Journal Viruses*, 12 (3), 1-19. <https://doi.org/10.3390/v12030293>
- Anderson, H. L., Brodsky, I. E., & Mangalmurti, N. S. (2018). The evolving erythrocyte: red blood cells as modulators of innate immunity. *The Journal of Immunology*, 201(5), 1343-1351. <https://doi.org/10.4049/jimmunol.1800565>
- Bahar, M., Anwar, E. N., & Fahira, L. (2023). Hubungan hasil jumlah trombosit dengan hasil IgG IgM pada pasien DBD di Laboratorium RS Gading Medika Kota Bengkulu. *Anakes: Jurnal Ilmiah Analisis Kesehatan*, 9(2), 113-120. <https://doi.org/10.37012/anakes.v9i2.1648>
- Borbouche, M. R., Najla, M., Meriem, B. A., & Imen, B. M. (2017). Lessons From Genetic Studies of Primary Immunodeficiencies in a Highly Consanguineous Population. *Frontiers in Immunology Mini Review*, 8, 1-8. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2017.00737>
- Chen, L., Deng, H., Cui, H., Fang, J., Zuo, Z., Deng, J., ... & Zhao, L. (2017). Inflammatory responses and inflammation-associated diseases in organs. *Oncotarget*, 9(6), 7204. <https://doi.org/10.18632/oncotarget.23208>
- Delano, M. J., & Ward, P. A. (2016). The immune system's role in sepsis progression, resolution, and long-term outcome. *Immunological reviews*, 274(1), 330-353. <https://doi.org/10.1111/imr.12499>
- Dewi, M. S., Nabila, P. S. D., Maya, D. A., Luqyana, S. A., Levina, A. H., Lathifah, KM., & Liss, D. D. A. (2025). Sistem Hematologi dan Immunologi: Sinergi Kompleks dalam Pertahanan Tubuh. *Jurnal Ilmiah Multidisiplin*, 1(6), 4364-4369. <https://doi.org/10.63822/v8zkv291>
- Firani, N. K., Siti, F. Shinta, O. W. Supriono., Andry, G., & Mustofa, A. (2024). Korelasi Profil Hematologi dan Trombopoietin dengan Terjadinya Perdarahan pada Pasien Sirosis Hepatis. *Majalah Kesehatan Fakultas Kedokteran*, 11(3), 168-174. <https://doi.org/10.21776/majalahkesehatan.2024.011.03.2>
- Gasparyan, A. Y., Ayvazyan, L., Mukanova, U., Yessirkepov, M., & Kitaz, G. D. (2019). The platelet-to-lymphocyte ratio as an inflammatory marker in rheumatic diseases. *Annals of laboratory medicine*, 39(4), 345. <https://doi.org/10.3343/alm.2019.39.4.345>
- Ginhoux, F., & Guilliams, M. (2016). Tissue-resident macrophage ontogeny and homeostasis. *Immunity*, 44(3), 439-449. <http://dx.doi.org/10.1016/j.immuni.2016.02.024>
- Hashimi, D., & Kevin, G. (2019). Yoga-Specific Enhancement of Quality of Life Among Women With Breast Cancer: Systematic Review and Exploratory MetaAnalysis of Randomized Controlled Trials. *Journal of Evidence-Based Integrative Medicine*, 24, 1-9. <https://doi.org/10.1177/2515690X19828325>
- Hermawan, D., Hayati, E., Durachim, A., & Noviar, G. (2023). Pengaruh Waktu dan Suhu Penyimpanan Trombosit Konsentrat terhadap Jumlah Trombosit. *Jurnal Kesehatan Siliwangi*, 4(1). <https://doi.org/10.34011/jks.v4i1.1480>
- Humaira, Z. Debie, A. Prima, A., & Yuri, H. (2025). Peran Skrining Hematologi Rutin dalam Deteksi Dini Komplikasi pada Pasien Stroke di Wilayah Kerja RSI Siti Rahmah Padang. *Jurnal Pengabdian Kolaborasi Inovasi IPTEKS*, 3(4), 928-931. <https://doi.org/10.59407/jpki2.v3i4.2924>
- Jeremy, R. C., Angela, C. W., & Germaine, W. (2026). Cancer in The Transplant Recipient. *Cold Spring Harbor Perspective in Medicine*, 1-13. <http://perspectivesinmedicine.cshlp.org/>
- Junianda, W., Jannah, W., Sari, W. P., & Anggriyani, R. (2023). Meta-analisis Kolerasi antara Jumlah Trombosit dengan Karakteristik Pasien dalam Patogenesis Malaria. *EKOTONIA: Jurnal Penelitian Biologi, Botani, Zoologi dan Mikrobiologi*, 8(2), 90-97. <https://doi.org/10.33019/ekotonia.v8i2.4776>

- Karine, A. P., Marine, G., Blanche, G., Herve, B., Amina, C., Stephane, C., & Christophe, J. (2020). Administration of Extensive Hydrolysates From Caseins and *Lactobacillus rhamnosus* GG Probiotic Does Not Prevent Cow's Milk Proteins Allergy in a Mouse Model. *Original Research Frontiers in Immunology*, 11, 1-12. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2020.01700>
- Lippi, G., & Plebani, M. (2020). Laboratory abnormalities in patients with COVID-2019 infection. *Clinical chemistry and laboratory medicine (CCLM)*, 58(7), 1131-1134. <https://doi.org/10.1515/cclm-2020-0198>
- Loviana, N., Savitri, L., Krissanjaya, R., & Kasimo, E. R. (2023). The Correlation Between Widal Diagnostic Test, Total Leukocyte Count, and Platelet Count in Suspected Typhoid Fever Patients at RS Aura Syifa Kediri. *Biology, Medicine, & Natural Product Chemistry*, 12(2), 555-558. <https://doi.org/10.14421/biomedich.2023.122.555-558>
- Manne, B. K., Denorme, F., Middleton, E. A., Portier, I., Rowley, J. W., Stubben, C., ... & Campbell, R. A. (2020). Platelet gene expression and function in patients with COVID-19. *Blood, The Journal of the American Society of Hematology*, 136(11), 1317-1329. <https://doi.org/10.1182/blood.2020007214>
- Marshall, J. S., Richard, W., Wade, W., & Harold, L. K. (2018). An introduction to immunology and immunopathology. *Allergy, Asthma & Clinical Immunology*, 2(49), 6-14. <https://doi.org/10.1186/s13223-018-0278-1>
- Mulyatmo, P. D. S., Wijayanti, D. R., & Yansen, A. (2023). Hubungan Hematokrit Dan Trombosit Dengan Inflamasi Demam Berdarah Dengue Di Prodia Kebayoran Tahun 2020-2021: Relationship Of Hematocrite And Thrombocytes In Inflammation Case Of Dengue Fever At Kebayoran Prodia 2020-2021. *Binawan Student Journal*, 5(3), 77-82. <https://journal.binawan.ac.id/bsj/article/view/670>
- Nagaraj, M., Ananya, C., Srinivas, B. N. (2015). A Study on the Dispensing Pattern of Over the Counter Drugs in Retail Pharmacies in Sarjapur Area, East Bangalore. *Journal of Clinical and Diagnostic Research*, 9(8), 11-13. <https://doi.org/10.7860/JCDR/2015/12940.6119>
- Netea, M. G., Domínguez-Andrés, J., Barreiro, L. B., Chavakis, T., Divangahi, M., Fuchs, E., ... & Latz, E. (2020). Defining trained immunity and its role in health and disease. *Nature Reviews Immunology*, 20(6), 375-388. <https://doi.org/10.1038/s41577-020-0285-6>
- Pinho, S., & Frenette, P. S. (2019). Haematopoietic stem cell activity and interactions with the niche. *Nature reviews Molecular cell biology*, 20(5), 303-320. <https://doi.org/10.1038/s41580-019-0103-9>
- Pretini, V., Koenen, M. H., Kaestner, L., Fens, M. H., Schiffelers, R. M., Bartels, M., & Van Wijk, R. (2019). Red blood cells: chasing interactions. *Frontiers in physiology*, 10, 945. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00945>
- Ratajczak, M. Z., & Kucia, M. (2022). Hematopoiesis and innate immunity: an inseparable couple for good and bad times, bound together by an hormetic relationship. *Leukemia*, 36(1), 23-32. <https://doi.org/10.1038/s41375-021-01482-0>
- Rayes, J., Bourne, J. H., Brill, A., & Watson, S. P. (2020). The dual role of platelet-innate immune cell interactions in thrombo-inflammation. *Research and practice in thrombosis and haemostasis*, 4(1), 23-35. <https://doi.org/10.1002/rth2.12266>
- Sabatudung, C., Michael, B.B., & Norma, T. K. (2023). Gambaran Hematologi Rutin dan D-Dimer Pasien Covid-19 Kota Kupang. *Journal of Indonesia Medical Laboratory and Science*, 4(1), 14-24. <https://doi.org/10.53699/joimedlabs.v4i1.125>

- Safitri, E. K., Latifah, N. A., Luluk, L., Nabila, F. A. Z., Nina, M. S., Rahmadani, E. N. S., & Liss, D. D. A. (2025). Dampak Gangguan Sistem Imun Terhadap Hematologi Pasien. *Jurnal Ilmiah Multidisiplin*, 1(6), 4371-4380. <https://doi.org/10.63822/wwrc2571>
- Sutanto, Y. S., Hendra, A. Akhmad, S., Sihsusetyaningtyas, T. S. (2024). Differences in White Blood Cells, Neutrophil-to-Lymphocyte Ratio, Tumor Necrosis Factor- $\alpha$  Based on Procalcitonin Level In Community-Acquired Pneumonia Patients. *Jurnal Respirpologi Indonesia*, 44(3), 236-241. <https://doi.org/10.36497/jri.v44i3.632>
- Taggara, N. T., Perdana, N., Anggeraini, S., & Faidah, N. (2019). Analisis Nilai Indeks Trombosit Dan Rasio Trombosit Limfosit Sebagai Penanda Inflamasi Glomerulus Pada Penderita Hipertensi Berbagai Derajat. *Medica Arteriana (Med-Art)*, 1(2), 59-65. <https://doi.org/10.26714/medart.1.2.2019.7-14>
- Tsokos, G. C. (2020). Autoimmunity and organ damage in systemic lupus erythematosus. *Nature immunology*, 21(6), 605-614. <https://doi.org/10.1038/s41590-020-0677-6>