

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Darah**

##### **2.1.1. Pengertian Darah**

Darah merupakan jaringan cair di tubuh manusia yang terbagi menjadi dua komponen, yaitu plasma darah (bagian cair) yang mencapai 55% dan elemen seluler atau sel darah (bagian padat) yang menyusun 45%. Sel darah terbagi menjadi tiga tipe, yaitu eritrosit, leukosit, dan trombosit. Jumlah total darah pada orang dewasa diperkirakan berkisar antara 5-6 liter atau 7%-8% dari berat badan individu (Maharani & Noviar, 2018).

##### **2.1.2. Komponen Penyusun Darah**

Darah terbentuk dari dua unsur utama yang adalah sebagai berikut:

###### **1. Plasma Darah**

Plasma darah merupakan salah satu komponen cairan dalam darah yang mempengaruhi sekitar 5% dari total berat badan manusia. Cairan ini memiliki warna kekuningan dan terdiri dari 90% air, 8% protein, 0,9% yang mencakup mineral, oksigen, enzim, dan antigen, sementara sisanya adalah bahan organik seperti lemak, kolesterol, urea, asam amino, serta glukosa. Plasma darah berperan dalam mengangkut nutrisi ke seluruh tubuh manusia dan juga berfungsi mengangkut limbah dari metabolisme sel-sel dan jaringan tubuh untuk dikeluarkan melalui organ pembuangan.

Beberapa jenis protein yang larut dalam plasma darah meliputi:

- a. Albumin yang berfungsi menjaga tekanan osmotik.
- b. Globulin yang berperan dalam pembentukan antibodi.
- c. Faktor koagulasi darah yang terlibat dalam proses hemostasis.

(Maharani & Noviar, 2018)

###### **2. Korpuskuler (Komponen Padat Darah)**

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

Sel darah merah, yang biasa dikenal dengan sebutan eritrosit, berasal dari istilah Yunani. Kata "erythos" berarti merah, sedangkan "kythos" berarti selubung atau sel. Eritrosit merupakan bagian darah yang mengandung hemoglobin (Hb). Bentuk

sel darah merah adalah cakram bikonkaf dengan diameter 6-8 $\mu$ m dan tebalnya sekitar 2 $\mu$ m. Eritrosit adalah sel terkecil di tubuh manusia jika dibandingkan dengan sel lainnya, selain trombosit, dan juga merupakan sel yang paling banyak jumlahnya dibandingkan dengan jenis sel darah lainnya. Dalam kondisi normal, seorang pria dewasa memiliki sekitar 25 triliun sel darah merah dalam darahnya, yang setara dengan 5 juta sel/mm<sup>3</sup>. Sementara itu, wanita dewasa memiliki sekitar 4,5 juta sel darah merah dalam setiap mm<sup>3</sup>. Umur sel darah merah (eritrosit) adalah 120 hari (Maharani & Noviar, 2018).

#### b. Sel Darah Putih (Leukosit)

Leukosit, atau yang dikenal sebagai sel darah putih, memiliki ukuran lebih besar dibandingkan dengan eritrosit. Jumlah yang dianggap normal pada orang dewasa adalah antara 4.000 hingga 10.000 sel leukosit/mm<sup>3</sup>. Berbeda dengan sel darah merah, sel leukosit memiliki inti (nukleus) dan sebagian besar jenisnya bisa bergerak layaknya amoeba serta mampu menembus dinding kapiler. Sel darah putih diproduksi di dalam sumsum tulang, kelenjar limfa, dan limpa (Maharani & Noviar, 2018).

#### c. Keping Darah (Trombosit)

Trombosit adalah komponen darah yang memiliki peranan krusial dalam proses hemostasis. Trombosit akan menempel pada lapisan endotel pembuluh darah yang mengalami kerusakan (luka) dan membentuk sumbatan trombosit. Trombosit tidak memiliki inti sel, memiliki ukuran antara 1 hingga 4 $\mu$ m, dan sitoplasmanya berwarna biru dengan granula ungu kemerahan. Trombosit berasal dari megakariosit, yaitu hasil dari pemecahan tujuh fragmen sitoplasma megakariosit. Pada keadaan normal, jumlah trombosit dalam darah berkisar antara 150.000 hingga 350.000 sel/mL darah (Maharani & Noviar, 2018).

## **2.2. Leukosit**

### **2.2.1. Definisi**

Leukosit adalah sel-sel darah putih yang dihasilkan oleh jaringan hemopoietik untuk jenis yang memiliki granula (polimorfonuklear) dan oleh jaringan limfatik untuk yang tidak memiliki granula (mononuklear), berperan dalam pertahanan tubuh melawan infeksi. Melalui mikroskop cahaya, leukosit terlihat memiliki granula tertentu (granulose) yang ketika hidup muncul sebagai

tetesan setengah cair, dengan bentuk inti yang beragam dan sitoplasma yang seragam. Leukosit merupakan komponen penting dalam sistem kekebalan tubuh, yang melawan benda asing, mikroba, atau jaringan lain yang tidak dikenal (Maizah et al., 2018).

Leukosit adalah jenis sel darah yang memiliki inti dan umum dikenal sebagai sel darah putih. Sel-sel leukosit terbentuk di sumsum tulang serta jaringan limfa (limfosit). Terdapat dua kelompok leukosit, yaitu granulosit (neutrofil, eosinofil, dan basofil) dan non-granulosit (monosit dan limfosit) (Sihombing et al., 2024). Leukosit berfungsi dalam sistem imun. Klasifikasi leukosit ditentukan oleh keberadaan atau ketidakhadiran granula dalam sitoplasmanya, yang mencakup granulosit dan agranulosit. Proses pembentukan leukosit berasal dari sel punca hematopoietik (HSCs) yang terdapat di sumsum tulang (Maizah et al., 2018).

#### **2.2.2. Jumlah Normal Leukosit**

Jumlah normal sel darah putih pada orang dewasa berkisar antara 4.000 sampai 11.000/mm<sup>3</sup> (Prasthio et al., 2022).

#### **2.2.3. Struktur Leukosit**

Bentuk leukosit dapat bervariasi dan mampu bergerak menggunakan kaki palsu (pseudopodia). Sel ini memiliki berbagai jenis inti, yang memungkinkan kita membedakannya berdasarkan inti dan warna yang transparan atau tanpa warna (Maharani & Noviar, 2018). Leukosit atau sel darah putih adalah sel dengan satu inti yang memiliki ukuran dan bentuk sitoplasma yang berbeda-beda, sehingga setiap tipe leukosit tidak memiliki bentuk yang seragam dan bersifat amuboid (mampu bergerak aktif). Ukuran leukosit lebih besar dibandingkan eritrosit, sehingga mudah terlihat di bawah mikroskop (Englishiana et al., 2020).

#### **2.2.4. Fungsi**

Berikut adalah peran sel darah putih:

- a. Menjaga sistem kekebalan tubuh agar tidak mudah terinfeksi
- b. Melindungi tubuh dari serangan mikroorganisme melalui jenis sel darah putih granulosit dan monosit
- c. Mengelilingi darah yang mengalami luka atau terinfeksi
- d. Menangkap dan menghancurkan organisme hidup

- e. Menghapus atau membuang benda-benda asing seperti kotoran atau sisa-sisa
- f. Memiliki enzim yang dapat memecah protein yang berpotensi merugikan tubuh
- g. Berfungsi dalam pembentukan antibodi di dalam tubuh (Erlina, 2019).

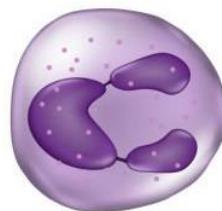
### 2.2.5. Jenis-Jenis Sel

Berdasarkan keberadaan granula dalam sitoplasma, leukosit dikelompokkan menjadi:

#### A. Leukosit Bergranula (granulosit)

##### 1. Sel Neutrofil

Neutrofil mempunyai granula yang berbentuk butiran kecil dan memiliki sifat netral. Ini menyebabkan terjadinya campuran warna asam (eosin) dan warna basa (metilen biru), sehingga granula akan tampak berwarna ungu atau samar merah muda. Neutrofil merupakan jenis sel leukosit yang paling dominan, mencakup sekitar 50-70% dari total, dengan ukuran sekitar 14  $\mu\text{m}$ . Terdapat dua jenis neutrofil, yaitu neutrofil batang (stab) dan neutrofil segmen (polimorfonuklear). Perbedaan antara keduanya adalah neutrofil batang adalah bentuk awal dari neutrofil segmen, seringkali disebut sebagai neutrofil tapal kuda karena inti selnya mirip dengan bentuk tapal kuda. Seiring dengan proses kematangan, bentuk inti ini akan membagi diri menjadi beberapa segmen dan berubah menjadi neutrofil segmen. Sel neutrofil memiliki sitoplasma yang luas, berwarna pink pucat, serta granula halus yang berwarna ungu (Prasthio et al., 2022).

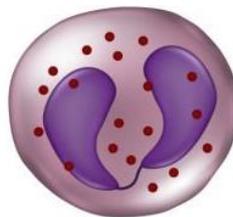


**Gambar 2.1.** Sel Neutrofil  
Sumber : Boonyong, 2024

##### 2. Sel Eosinofil

Eosinofil di dalam organisme memiliki proporsi sekitar 1-6% dengan ukuran 16  $\mu\text{m}$ . Sel-sel ini berfungsi dalam proses fagositosis dan memproduksi antibodi yang menanggapi antigen yang dihasilkan oleh

parasit. Masa hidup eosinofil lebih panjang dibandingkan dengan neutrofil, yaitu sekitar 8-12 jam. Meskipun eosinofil dan neutrofil memiliki kesamaan, eosinofil memiliki granula sitoplasma yang lebih besar dan berwarna merah-oranye. Warna merah ini disebabkan oleh adanya protein kation yang bersifat basa, yang berikatan dengan zat pewarna golongan anilin asam seperti eosin, umumnya digunakan dalam pewarnaan giemsa. Granula eosinofil relatif sama besar dan memiliki bentuk seperti gelembung, serta tidak sering ditemukan dengan inti yang memiliki lebih dari 3 lobus. Jumlah eosinofil akan bertambah ketika seseorang menderita penyakit alergi, infeksi parasit, penyakit kulit, kanker, flebitis, tromboflebitis, leukemia mielositik kronik (CML), emfisema, dan penyakit ginjal. Sementara itu, pada individu yang mengalami stres, mendapatkan pengobatan steroid secara oral atau melalui injeksi, mengalami luka bakar, syok, dan hiperfungsi adrenokortikal, akan terlihat penurunan jumlah eosinofil (Prasthio et al., 2022).



**Gambar 2.2.** Sel Eosinofil  
Sumber : Boonyong, 2024

### 3. Sel Basofil

Basofil mengandung granula kasar berwarna ungu atau biru tua dan seringkali menutupi inti sel yang bersegmen. Merupakan jenis leukosit yang jumlahnya paling sedikit yaitu <2% dari jumlah keseluruhan leukosit. Granula pada basofil mengandung heparin (antikoagulan) histamin, dan substansi anafilaksis. Basofil berperan dalam reaksi hipersensitivitas yang berhubungan dengan Immunoglobulin F (IgF) (Maharani & Noviar, 2018).



**Gambar 2.3.** Sel Basofil  
Sumber : Boonyong, 2024

## B. Leukosit Tidak Bergranula (agranulosit)

### 1. Sel Limfosit

Limfosit merupakan jenis leukosit kedua yang paling banyak setelah neutrofil, mencakup 20 hingga 40 persen dari total leukosit. Pada anak-anak, jumlah limfosit lebih tinggi dibandingkan pada orang dewasa, dan saat terjadi infeksi virus, jumlah limfosit akan meningkat. Berdasarkan fungsi, limfosit terbagi menjadi limfosit B dan limfosit T. Limfosit B matang di sumsum tulang, sedangkan limfosit T matang di kelenjar timus. Keduanya tidak dapat dibedakan melalui pewarnaan Giemsa karena morfologinya yang serupa, berbentuk bulat dengan diameter sekitar 12  $\mu\text{m}$ . Sitoplasma limfosit sangat sedikit karena hampir seluruh ruang sel ditutupi oleh nukleus yang padat dan tidak bergranula. Limfosit B berasal dari sel punca di sumsum tulang dan berkembang menjadi sel plasma yang bertugas memproduksi antibodi. Limfosit T terbentuk ketika sel punca dari sumsum tulang berpindah ke kelenjar timus, dimana mereka mengalami pembelahan dan pematangan. Dalam kelenjar timus, limfosit T belajar untuk membedakan antara benda asing dan yang bukan benda asing. Setelah matang, limfosit T meninggalkan kelenjar timus dan memasuki sistem limfatik, dimana mereka berperan dalam sistem pengawasan imun (Prasthio et al., 2022).



**Gambar 2.4.** Sel Limfosit  
Sumber : Boonyong, 2024

## 2. Sel Monosit

Jumlah monosit berkisar antara 3-8% dari keseluruhan leukosit. Monosit dapat ditemukan dalam darah, jaringan ikat, dan ruang tubuh. Monosit memiliki dua peran, yaitu sebagai fagosit untuk mikroba (terutama bakteri dan jamur) serta berkontribusi dalam respon imun. Monosit termasuk dalam kelompok fagositik mononuklear (sistem retikuloendotel) dan memiliki area reseptor di permukaan membrannya (Prasthio et al., 2022).



**Gambar 2.5.** Sel Monosit  
Sumber : Boonyong, 2024

### 2.3. Hubungan Leukosit Terhadap Atlet Karate

Leukosit atau sel darah putih adalah elemen penting dalam sistem kekebalan tubuh yang berfungsi untuk melawan infeksi dan menjaga kesehatan tubuh. Aktivitas fisik, termasuk latihan dan kompetisi dalam karate, dapat mempengaruhi jumlah leukosit dalam darah. Respons tubuh terhadap kegiatan fisik bervariasi berdasarkan tingkat intensitas, durasi, dan jenis latihan yang dilakukan (Rajagukguk & Putra, 2022).

Pada atlet karate, sering kali terjadi peningkatan jumlah leukosit setelah melakukan latihan dengan intensitas tinggi. Hal ini diakibatkan oleh pelepasan hormon stres seperti adrenalin dan kortisol yang dapat merangsang pemindahan leukosit dari jaringan ke aliran darah. Fenomena ini dikenal sebagai leukositosis yang diinduksi oleh latihan, dimana jumlah leukosit meningkat sementara sebagai bagian dari respons tubuh terhadap stres fisik (Kadir et al., 2022).

Beberapa faktor yang dapat memengaruhi jumlah leukosit pada atlet karate meliputi:

**a. Jenis latihan**

Latihan yang melibatkan kontak fisik langsung, seperti kumite (pertarungan), dapat menyebabkan respons inflamasi yang lebih tinggi dibandingkan latihan kata (jurus) yang lebih terstruktur (Susilo & Wiriawan, 2021).

**b. Durasi dan Intensitas Latihan**

Latihan dengan intensitas tinggi dan berlangsung lama dapat meningkatkan jumlah leukosit akibat stres fisik dan kebutuhan tubuh untuk memperbaiki jaringan yang rusak (Syah & Hakim, 2020).

**c. Fase Pemulihan**

Setelah latihan atau pertandingan, jumlah leukosit dapat kembali normal atau bahkan menurun sebagai respons adaptasi tubuh terhadap latihan rutin (Herlina et al., 2023).

Meskipun peningkatan leukosit merupakan respons fisiologis yang normal, latihan berlebihan tanpa pemulihan yang cukup dapat menyebabkan kondisi immunosupresi, dimana sistem imun mengalami penurunan fungsi. Oleh karena itu, pemantauan jumlah leukosit pada atlet karate penting untuk menilai keseimbangan antara latihan, pemulihan, dan kesehatan secara keseluruhan (Rajagukguk & Putra, 2022).

**2.4. Hubungan Leukosit Dengan VO2Max**

VO2Max (volume oxygen maximum) adalah kapasitas maksimal tubuh dalam menyerap, mengangkut, dan menggunakan oksigen selama aktivitas fisik yang intens. Nilai VO2Max mencerminkan efisiensi sistem kardiorespirasi dan menjadi indikator utama daya tahan aerobik seorang atlet (Pramata, 2016). Dalam olahraga prestasi seperti karate, VO2Max sangat penting karena mendukung performa dalam pertandingan yang membutuhkan kekuatan, kelincahan, dan kecepatan tinggi secara berulang (Kadir et al., 2022).

Aktivitas fisik maksimal akan meningkatkan kebutuhan oksigen secara drastis hingga 20 kali lipat dibanding saat istirahat, dan bahkan hingga 100 kali lipat pada serabut otot yang aktif (Marpaung et al., 2018). Dalam kondisi ini, tubuh tidak

hanya bekerja keras untuk memenuhi kebutuhan metabolik, tetapi juga merespon dengan aktivasi sistem imun, yang salah satunya terlihat melalui peningkatan jumlah leukosit. Leukosit atau sel darah putih berfungsi sebagai pertahanan tubuh terhadap stres fisiologis dan peradangan akibat latihan berat. Penelitian menunjukkan bahwa setelah melakukan tes fisik maksimal (seperti bleep test), terjadi peningkatan signifikan jumlah leukosit dan limfosit, yang mencerminkan respon imun terhadap stres metabolik dan inflamasi otot (Marpaung et al., 2018). Selain itu, perubahan subset sel T seperti peningkatan limfosit CD8+ dan penurunan Th (helper) menunjukkan adanya proses pemulihan dan adaptasi sistem imun terhadap latihan berat (Kostrzewa-Nowak et al., 2019).

## 2.5. Metode Pengukuran VO2Max

VO2Max dapat diukur dengan 2 metode: langsung menggunakan alat analisis gas pernapasan selama uji treadmill atau ergometer, dan tidak langsung, salah satunya menggunakan Multistage Fitness Test (MFT) atau Bleep Test. Pada populasi atlet, terutama dalam kondisi lapangan, metode MFT lebih banyak digunakan karena praktis dan tetap memiliki validitas yang baik (Pramata, 2016; Kadir et al., 2022).

Multistage Fitness Test adalah tes lari bolak-balik sejauh 20 meter mengikuti irama suara "beep" yang semakin cepat. Setiap level memiliki kecepatan tertentu dan atlet diharuskan mencapai garis sebelum bunyi beep berikutnya terdengar. Ketika atlet tidak mampu mengikuti irama selama dua kali berturut-turut, maka tes dihentikan, dan level terakhir digunakan untuk memperkirakan nilai VO2Max menggunakan rumus standar (Marpaung et al., 2018).

**Tabel 2.1 Tabel VO2Max Laki-Laki (satuan dalam mL/kg/menit)**

Age	Very Poor	Poor	Fair	Good	Excellent	Superior
13-19	<35.0	35.0-38.3	38.4-45.1	45.2-50.9	51.0-55.9	>55.9
20-29	<33.0	33.0-36.4	36.5-42.4	42.5-46.4	46.5-52.4	>52.4
30-39	<31.5	31.5-35.4	35.5-40.9	41.0-44.9	45.0-49.4	>49.4
40-49	<30.2	30.2-33.5	33.6-38.9	39.0-43.7	43.8-48.0	>48.0
50-59	<26.1	26.1-30.9	31.0-35.7	35.8-40.9	41.0-45.3	>45.3
60+	<20.5	20.5-26.0	26.1-32.2	32.3-36.4	36.5-44.2	>44.2

Sumber : Buku Sport Development Index (konsep, metodologi dan aplikasi, 2007)

## **2.6. Atlet Karate**

Atlet karate adalah individu yang secara khusus berlatih dan berkompetisi dalam cabang olahraga karate, baik dalam kategori kata (jurus) maupun kumite (pertarungan). Untuk mencapai performa yang optimal, seorang atlet karate harus memiliki kondisi fisik yang prima, termasuk kekuatan, kecepatan, daya tahan, dan keseimbangan (Syah & Hakim, 2020).

Komponen fisik utama yang harus dimiliki oleh atlet karate meliputi:

- a. Kecepatan. Atlet harus mampu bereaksi cepat terhadap serangan lawan dan melakukan serangan dengan presisi
- b. Daya ledak otot. Kemampuan menghasilkan tenaga yang besar dalam waktu singkat sangat penting untuk pukulan dan tendangan yang efektif
- c. Kelincahan. Dibutuhkan untuk menghindari serangan lawan dan menjaga posisi strategis saat bertanding
- d. Keseimbangan. Stabilitas tubuh sangat diperlukan saat melakukan teknik pertahanan dan serangan

Latihan fisik yang diterapkan pada atlet karate mencakup berbagai metode, seperti latihan ketahanan aerobik dan anaerobik, latihan kekuatan otot, serta latihan teknik secara rutin. Evaluasi kondisi fisik atlet secara berkala sangat penting untuk menilai perkembangan performa dan menentukan program latihan yang sesuai (Kadir et al., 2022). Karate bukan hanya mengandalkan keterampilan fisik, tetapi juga membutuhkan aspek mental seperti disiplin, strategi, dan ketahanan psikologis. Oleh karena itu, pembinaan atlet Karate tidak hanya berfokus pada aspek fisik, tetapi juga mental dan teknik untuk mencapai prestasi yang optimal dalam kompetisi (Syah & Hakim, 2020).

## **2.7. Metode Pemeriksaan Jumlah Leukosit**

### **2.7.1. Menggunakan Hematology Analyzer (Cara Automatic)**

Hematology analyzer adalah perangkat yang berfungsi untuk melakukan analisis darah secara menyeluruh. Ini mencakup pengujian hemoglobin, jumlah leukosit, jumlah eritrosit, serta kadar trombosit. Selain itu, alat ini juga dapat mengenali atau mendiagnosis berbagai penyakit yang terkait dengan darah, seperti diabetes dan leukemia. Cara kerja dari hematology analyzer adalah dengan

mencampurkan sampel darah menggunakan reagen dilusi sebanyak 200 kali melalui proses hemolyzing untuk menentukan jumlah leukosit. Setelah itu, sampel mengalami proses dilusi tambahan sebanyak 200 kali (total menjadi 40.000 kali) untuk mengukur eritrosit dan trombosit (Hotromasari et al., 2023).

Hematology Analyzer adalah alat yang digunakan untuk analisis darah lengkap dengan tingkat kecepatan dan akurasi yang baik. Perangkat ini memiliki beberapa keuntungan, seperti efisiensi waktu, volume sampel yang diperlukan, serta ketepatan hasil. Proses pengujian dengan hematology analyzer dapat dilakukan dengan cepat, hanya membutuhkan waktu sekitar 45 detik. Sampel yang digunakan bisa berasal dari darah perifer dengan volume yang lebih sedikit. Namun, salah satu kelemahan dari hematology analyzer adalah ketergantungannya pada sumber daya listrik untuk operasional, sehingga alat ini tidak dapat digunakan di daerah dengan akses listrik yang terbatas.

### **2.7.2. Menggunakan Kamar Hitung (Cara Manual)**

Perhitungan jumlah leukosit secara manual umumnya dilakukan menggunakan hemocytometer, seperti kamar hitung Improved Neubauer. Dalam metode ini darah dicampur dengan larutan Turk untuk melisis sel-sel lain dan mewarnai leukosit, sehingga dapat dihitung jumlahnya dibawah mikroskop.

Tahapan langkah-langkah untuk memeriksa jumlah leukosit secara manual adalah sebagai berikut:

Persiapkan deck glass dan Bilik Hitung Improved Neubauer dalam keadaan bersih dan kering. Letakkan deck glass di atas bilik hitung. Diencerkan darah menggunakan pipet thoma. Dihisap darah EDTA sampai batas 0,5 untuk pengenceran 20 kali. Bersihkan bagian luar ujung pipet dari sisa darah yang menempel. Dihisap reagen Turk hingga mencapai tanda batas 11, pastikan tidak ada gelembung udara. Kocok pipet thoma selama 2-3 menit untuk mendapatkan darah yang homogen. Buang 3-4 tetes pertama, lalu teteskan darah berikutnya ke dalam bilik hitung dengan mengalirkannya dari tepi deck glass. Menghitung jumlah leukosit: Hitung sel leukosit di bawah mikroskop dengan perbesaran lensa 10x dan 40x. Hitung leukosit pada 16 kotak sedang yang terdapat di sudut bilik hitung. Hitung sel leukosit secara zig-zag dari sudut kiri atas (Rosyidah et al., 2024).