

## **BAB II**

### **KAJIAN PUSTAKA**

#### **2.1 Hemoglobin**

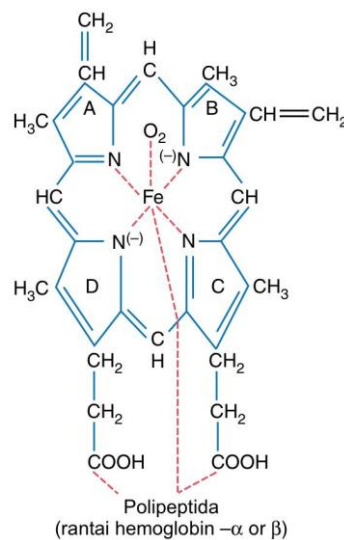
##### **2.1.1 Definisi Hb**

Oksigen yang dibawa dari paru-paru menuju jaringan membutuhkan peran eritrosit yang memiliki molekul hemoglobin. Hemoglobin memiliki protein tetramer yang terdiri dari empat rantai globin polipeptida dengan subunit globin terdiri dari bagian cincin heme protoporphyrin organik dan ion besi ( $\text{Fe}^{2+}$ ). Besi dalam heme memiliki kemampuan untuk membawa dan mendistribusikan oksigen sehingga memungkinkan pengantaran oksigen ke seluruh tubuh. Jenis hemoglobin yang paling umum yaitu HbA yang terdiri dari dua subunit beta dan dua subunit alfa yang dikodekan oleh gen globin yang berbeda.<sup>1</sup>

Kadar Hb berbeda pada setiap orang, bayi yang baru lahir memiliki kadar yang lebih tinggi dibandingkan individu dewasa yaitu 17-23 gr/dL lalu turun sekitar 9-14 gr/dL setelah bayi berumur 2 bulan, pada usia 10 tahun kadar normal Hb untuk perempuan adalah sekitar 12-14 gr/dL dan pada laki-laki adalah 14-18 gr/dL selanjutnya mengalami penurunan pada usia di atas 50 tahun<sup>14</sup> sekitar 11,2-16,7 g/dL pada laki-laki dan 11,3-15,7 g/dL pada perempuan.<sup>15</sup>

### 2.1.2 Morfologi dan Biokimia Hb

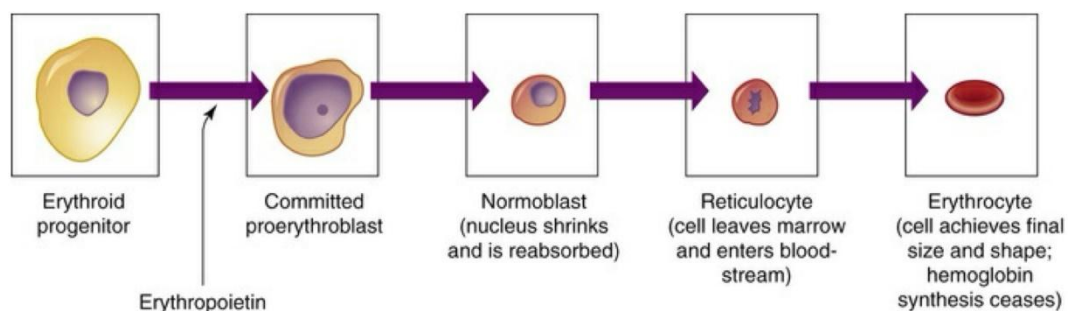
Hemoglobin memiliki rantai subunit berbeda-beda bergantung pada asam amino yang menyusun pada setiap polipeptida. Hemoglobin memiliki rantai alfa, beta, gamma dan delta. Setiap rantai Hb memiliki empat atom besi yang dapat berikatan longgar dengan satu molekul oksigen sehingga setiap molekul hemoglobin dapat mengangkut empat atau delapan atom oksigen. Afinitas hemoglobin terhadap oksigen ditentukan oleh jenis rantai hemoglobin yang ada pada molekul hemoglobin.<sup>16</sup>



**Gambar 2.1 Molekul Hemoglobin<sup>16</sup>**

### 2.1.3 Pembentukan Hb

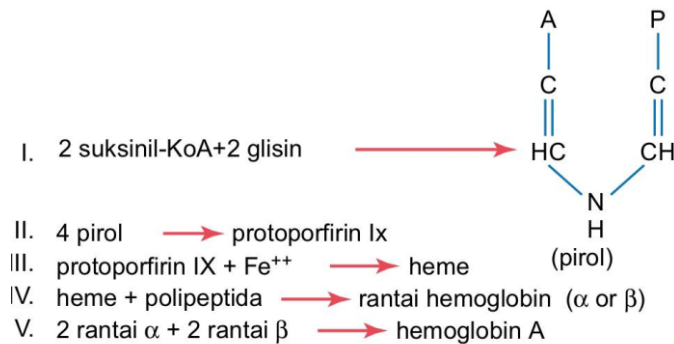
Pembentukan hemoglobin diawali oleh fase proeritroblas berlanjut ke fase retikulosit pada pembentukan eritrosit. Retikulosit keluar dari sumsum tulang dan masuk ke dalam aliran darah dan tetap memproduksi sejumlah kecil hemoglobin setelah satu hari hingga sel tersebut berubah menjadi eritrosit yang *mature*.<sup>16</sup>



**FIGURE 28.14 Erythrocyte Differentiation.** Erythrocyte differentiation from large nucleated progenitor cells to small nonnucleated erythrocytes.

### Gambar 2.2 Diferensiasi Eritrosit<sup>17</sup>

Gambar 2.3 menunjukkan tahap awal kimiawi pembentukan Hb. Molekul suksinil-KoA bergabung dengan glisin membentuk molekul pirol dalam siklus krebs bergabung membentuk protoporfirin IX lalu membentuk molekul heme yang bergabung dengan rantai polipeptida panjang yaitu globin yang disintesis ribosom untuk membentuk subunit hemoglobin disebut rantai hemoglobin. Berat molekul rantai kira-kira 16.000 empat rantai ini akan berikatan longgar satu sama lain untuk membentuk molekul hemoglobin yang lengkap.<sup>16</sup>



**Gambar 2.3 Sintesis Hemoglobin.**<sup>16</sup>

Sintesis heme adalah proses pembentukan molekul heme yang terjadi dalam beberapa tahap di dalam sel. Proses ini melibatkan kerja sama antara mitokondria dan sitosol. Dua molekul sederhana di mitokondria yaitu glisin dan suksinil koenzim A digabungkan menjadi molekul *Amino Levalinat Acid* (ALA). ALA diubah menjadi molekul yang lebih kompleks secara bertahap melalui beberapa reaksi enzimatik di sitosol. Molekul-molekul ini antara lain *porphobilinogen*, *hidroksimetilbilan*, *uroporphyrinogen III*, dan *coproporphyrinogen III*. *Coproporphyrinogen III* yang terbentuk di sitosol kemudian dibawa kembali ke mitokondria untuk diubah menjadi *protoporfirin IX*. Dalam mitokondria atom besi (Fe<sup>2+</sup>) ditambahkan ke *protoporfirin IX* membentuk molekul heme yang lengkap.<sup>1</sup>

#### 2.1.4 Penghancuran Hb

Saat eritrosit keluar dari *bone-marrow*, eritrosit akan bersirkulasi ke dalam sirkulasi darah dan normalnya akan hidup sekitar 120 hari sebelum di hancurkan. Sistem metabolik dalam eritrosit yang tua secara perlahan makin kurang aktif dan membran sel menjadi lebih rapuh dan dapat rusak saat melewati tempat yang sempit terutama di sirkulasi limpa karena memiliki lebar ruangan yang lebih kecil dibanding eritrosit sehingga eritrosit pecah dan melepaskan Hb yang difagosit oleh

sel-sel makrofag di berbagai bagian organ terutama oleh sel-sel *Kupffer* hati, makrofag limpa dan makrofag *bone-marrow* dalam beberapa jam atau hari dan makrofag akan melepaskan besi dari Hb lalu mengembalikannya ke dalam darah sehingga diangkut oleh transferin ke sumsum tulang untuk membentuk eritrosit baru.<sup>16</sup>

### **2.1.5 Fisiologi Hb**

Salah satu karakteristik utama hemoglobin adalah kemampuannya dalam berikatan longgar dan dapat kembali mengikat oksigen. Fungsi hemoglobin dalam tubuh adalah mengikat oksigen di paru-paru dan kemudian melepaskannya sebagai molekul ke kapiler jaringan perifer.<sup>16</sup> Makanan, usia, jenis kelamin, aktivitas, merokok, dan penyakit terkait seperti leukemia, thalasemia, dan tuberkulosis adalah faktor yang memengaruhi kadar Hb seseorang.<sup>18</sup>

Peningkatan signifikan dalam aktivitas metabolisme selama aktivitas fisik seperti olahraga menyebabkan penurunan pH dan meningkatkan produksi asam seperti ion hidrogen dan asam laktat sehingga afinitas antara oksigen dan hemoglobin berkurang menyebabkan ikatan oksigen menurun dan hemoglobin akan melepaskan lebih banyak oksigen sehingga pengiriman oksigen ke otot meningkat.<sup>19</sup>

## **2.2 Olahraga**

### **2.2.1 Definisi Olahraga**

Olahraga adalah kegiatan fisik yang direncanakan dan bertujuan untuk meningkatkan kinerja fisik dengan berbagai tujuan. Salah satunya, tubuh mampu bekerja penuh tanpa kelelahan dan tetap dapat melakukan kegiatan tambahan yang

diperlukan.<sup>20</sup> Kesehatan saling berkaitan dengan olahraga dalam meningkatkan produktivitas dan olahraga dikatakan baik jika dilakukan seminggu tiga kali dengan waktu 20-45 menit.<sup>21</sup>

### 2.2.2 Frekuensi Olahraga

Frekuensi olahraga adalah banyaknya latihan olahraga dalam waktu tertentu.<sup>22</sup>

**Tabel 2.1 Frekuensi Olahraga<sup>21</sup>**

| Frekuensi Olahraga |
|--------------------|
| <3 kali/minggu     |
| 3-5 kali/minggu    |
| >5 kali/minggu     |

### 2.2.3 Intensitas Olahraga

Intensitas olahraga didefinisikan sebagai tingkat usaha atau beban kerja fisik yang diukur sebagai persentase maksimal dari respon fisiologis dan klinis seorang individu pada saat berolahraga yang memberikan pengaruh langsung terhadap stress metabolik dan kardiovaskular serta menghasilkan adaptasi fisiologis tertentu.<sup>23</sup> Semakin tinggi tingkat intensitas olahraga, semakin besar manfaat fisiologis yang bisa dihasilkan seperti peningkatan kesehatan kardiorespirasi, kekuatan otot, hingga efek psikologis positif seperti perbaikan mood atau penurunan depresi. Namun, tingkat intensitas yang tinggi juga memerlukan perhatian lebih untuk menghindari risiko cedera atau respons negatif.<sup>24</sup> Ambang metabolik atau *metabolic threshold* merupakan sebuah istilah yang digunakan untuk menggambarkan tingkat intensitas olahraga yang menyebabkan suatu perubahan nyata dalam metabolisme tubuh perubahan dapat di nilai dari jumlah

oksigen yang diperlukan oleh tubuh, produksi karbon dioksida, pola pernafasan, atau kadar metabolit di otot dan darah.<sup>25</sup>

$$\text{Denyut nadi maksimum (DNM)} = 220 - \text{umur (dalam tahun)}$$

**Gambar 2.4 Denyut Nadi Maksimum<sup>26</sup>**

Pengelompokan intensitas olahraga dapat didasarkan pada perubahan metabolik dan ventilasi yang terjadi selama aktivitas fisik, serta dapat diidentifikasi melalui parameter seperti respons ventilasi (VE), kadar laktat darah maupun konsumsi oksigen yang digunakan (VO<sub>2</sub>). Intensitas olahraga dapat diklasifikasikan menjadi tiga kategori utama yakni ringan, sedang, dan berat:<sup>25</sup>

#### 1. Intensitas Ringan (*Light Intensity*)

Olahraga dengan intensitas ringan umumnya adalah jenis olahraga yang tidak menyebabkan peningkatan konsumsi oksigen dalam jumlah besar, tidak membuat berkeringat, dan peningkatan denyut nadi dalam jumlah sedikit jika dibandingkan saat beristirahat. Contoh olahraga dengan intensitas ringan adalah berjalan, yoga ringan, peregangan, dan aktivitas sehari-hari seperti menyapu atau berkebun.

#### 2. Intensitas Sedang (*Moderate Intensity*)

Olahraga kategori ini menyebabkan peningkatan frekuensi nafas yang lebih cepat, individu masih mampu untuk berbicara atau mengobrol panjang, peningkatan detak jantung yang signifikan dan tubuh yang mulai berkeringat. Contoh olahraga dengan intensitas sedang adalah berjalan cepat, bersepeda santai, senam aerobik ringan, dan pilates dengan ritme sedang.

### 3. Intensitas Berat (*Vigorous Intensity*)

Pada tingkat olahraga dengan intensitas yang berat, nafas menjadi terengah-engah, kesulitan dalam berbicara, detak jantung menjadi cepat, dan berkeringat banyak. Contoh olahraga dengan intensitas berat diantaranya adalah berlari, *high intensity interval training (HIIT)*, senam aerobik intensif, bersepeda cepat, latihan kekuatan dengan beban 70-80% 1RM (*one-repetition maximum*).

#### 2.2.4 Durasi Olahraga

Durasi olahraga adalah lamanya latihan atau waktu yang dilakukan agar mendapatkan suatu manfaat bagi kesehatan.<sup>27</sup>

**Tabel 2.2 Durasi Olahraga<sup>21</sup>**

| Durasi Olahraga  |
|------------------|
| <30 menit/hari   |
| 30-60 menit/hari |
| >60 menit/hari   |

#### 2.2.5 Klasifikasi Olahraga

Jenis olahraga dibagi menjadi beberapa kategori:<sup>28</sup>

- 1) Olahraga ringan termasuk panah, menembak, *bowling*, dan *golf*.
- 2) Olahraga sedang termasuk tenis meja, tenis, bola basket, bulutangkis, *hockey*, *soft ball*, dan senam.
- 3) Olahraga berat termasuk renang, gulat, tinju, judo, kempo, dan balap sepeda.
- 4) Olahraga sangat berat termasuk angkat besi, lari maraton, *rowing*, dan balap sepeda jarak jauh lebih dari 130 km.

### 2.2.6 Manfaat Olahraga

Selain meningkatkan aliran darah melalui paru-paru dan memengaruhi sistem pernapasan serta peredaran darah olahraga juga memfasilitasi difusi oksigen ke dalam kapiler paru-paru. Karena eritrosit dan hemoglobin juga berperan dalam memasok oksigen ke tubuh melalui proses membawa oksigen ke sel dan jaringan serta mengembalikan CO<sub>2</sub> dari sel dan jaringan ke paru-paru, olahraga dapat meningkatkan produksi eritrosit dan mempermudah darah yang terikat oksigen untuk mencapai jaringan yang membutuhkannya.<sup>29</sup>

Aktivitas fisik dapat menurunkan tingkat stres mahasiswa dengan menjadi mekanisme koping yang efektif terhadap tekanan akademik dan kehidupan sehari-hari, meningkatkan kesejahteraan mental dengan membantu mengurangi kecemasan, memperbaiki suasana hati, dan meningkatkan rasa percaya diri. Keterlibatan dalam olahraga juga memperkuat interaksi sosial, membangun jaringan pertemanan, serta meningkatkan keterampilan komunikasi, yang secara keseluruhan berkontribusi pada kesehatan mental yang lebih baik.<sup>30</sup>

## 2.3 Mahasiswa Kedokteran

Mahasiswa kedokteran adalah individu yang terdaftar dan menjalani pendidikan di fakultas kedokteran, dengan tujuan utama menjadi seorang dokter. Mereka mengikuti program pendidikan yang mencakup pembelajaran teori, praktikum laboratorium, serta praktik klinis untuk mengembangkan kompetensi dalam bidang medis<sup>31</sup> dan menghadapi tantangan untuk memenuhi aktivitas olahraga karena selama tiga setengah tahun di masa *pre-clinic* menghabiskan waktunya untuk

belajar berjam-jam di depan laptop atau meja belajar. Waktu untuk melakukan olahraga ataupun memerhatikan asupan nutrisi sering dilupakan oleh mahasiswa.<sup>32</sup>

Penelitian menunjukkan bahwa tingkat aktivitas fisik mahasiswa kedokteran bervariasi di berbagai institusi. Studi di Universitas Mataram menemukan bahwa 53,5% mahasiswa memiliki aktivitas fisik sedang, 25,1% tinggi, dan 21,4% rendah<sup>33</sup> tetapi penelitian di Fakultas Kedokteran Universitas Pasundan menunjukkan bahwa 45,7% mahasiswa memiliki aktivitas fisik rendah, 42,9% sedang, dan 11,4% tinggi. Hasil ini mencerminkan perbedaan pola aktivitas fisik di kalangan mahasiswa kedokteran, yang dapat dipengaruhi oleh faktor akademik dan gaya hidup.<sup>13</sup>

#### **2.4 Hubungan Hemoglobin dengan Intensitas Olahraga**

Hemoglobin adalah protein pengikat oksigen yang terdapat dalam eritrosit<sup>1</sup> yang bekerja dengan mengikat oksigen dalam paru-paru dan kemudian melepaskannya ke dalam kapiler jaringan perifer.<sup>16</sup> Meningkatnya aktivitas fisik maka kadar Hb dan kardiovaskular juga akan meningkat.<sup>34</sup> Intensitas latihan fisik berat dalam waktu yang lama merupakan *stressor* bagi tubuh menyebabkan pemecahan Hb yang tinggi sehingga terjadi perubahan kadar Hb selama latihan.<sup>35</sup> Kegiatan berolahraga dengan intensitas berat selama empat minggu meningkatkan kadar hemoglobin dari 14,62 g/dL menjadi 15,02 g/dL, mencerminkan adaptasi fisiologis yang meningkatkan transportasi oksigen dan performa atletik.<sup>10</sup>

Latihan aerobik intensitas sedang selama 14 hari terbukti meningkatkan kadar hemoglobin secara signifikan pada pria kadar hemoglobin naik 8% dari 13 g/dL

menjadi 14 g/dL sedangkan pada wanita meningkat 8,3% dari 12 g/dL menjadi 14 g/dL dan jumlah eritrosit juga bertambah 7% pada pria dan 11% pada wanita yang berperan dalam peningkatan kadar hemoglobin. Peningkatan ini bersifat sementara atau jangka panjang yang dipengaruhi oleh durasi dan konsistensi latihan, lalu efek yang timbul sementara disebabkan oleh hemokonsentrasi akibat penurunan volume plasma yang kembali normal dalam beberapa jam hingga hari setelah latihan berhenti dan jika efek yang ditimbulkan jangka panjang maka terjadi karena latihan dilakukan lebih dari dua minggu di mana tubuh menyesuaikan diri dengan meningkatkan produksi eritrosit melalui eritropoiesis. Meski peningkatan kadar hemoglobin setelah 14 hari masih dalam batas normal efeknya dapat bertahan lebih lama jika latihan dilakukan secara konsisten.<sup>9</sup>

Intensitas olahraga secara signifikan memengaruhi sistem kardiovaskular dan parameter hematologi termasuk kadar hemoglobin dalam darah karena hemoglobin berperan penting dalam proses transport oksigen sehingga aktivitas olahraga dapat menyebabkan terjadinya adaptasi fisiologis pada parameter ini. Beberapa penelitian sebelumnya juga mengemukakan adanya hubungan antara olahraga intensitas berat dengan peningkatan eritropoiesis bergantung pada tingkat stres fisiologis yang dialami tubuh seperti olahraga dengan intensitas sedang membantu mempertahankan kadar hemoglobin tetap stabil sedangkan olahraga dengan intensitas berat berpotensi meningkatkan eritropoiesis melalui stimulasi produksi eritropoietin (EPO) akibat meningkatnya kebutuhan dan distribusi oksigen ke jaringan.<sup>36</sup> Penelitian yang dilakukan oleh Kanaujia & Yadav menunjukkan adanya hubungan antara intensitas olahraga dengan adaptasi kadar hemoglobin pada 60

populasi atlet tersebut yang mengungkapkan adanya peningkatan hemoglobin sebesar 7,2% (1,3 g/dL) pada kelompok dengan intensitas olahraga berat yang menunjukkan adanya stimulasi eritropoiesis. Sementara itu pada kelompok dengan intensitas sedang terjadi peningkatan kadar hemoglobin sebesar 2,4% (0,8 g/dL) dan pada kelompok intensitas rendah hanya terjadi perubahan minimal sebesar 0,9% (0,5 g/dL). Namun latihan dengan intensitas tinggi yang dilakukan secara berlebihan dapat memicu stres oksidatif dan hemolisis yang pada akhirnya menurunkan kadar zat besi dan menyebabkan anemia namun sebaliknya latihan dengan intensitas sedang membantu menjaga kadar hemoglobin tetap stabil tanpa menimbulkan stres fisiologis berlebih sehingga aman dilakukan untuk mempertahankan daya tahan tubuh tanpa risiko *overtraining*.<sup>37</sup>

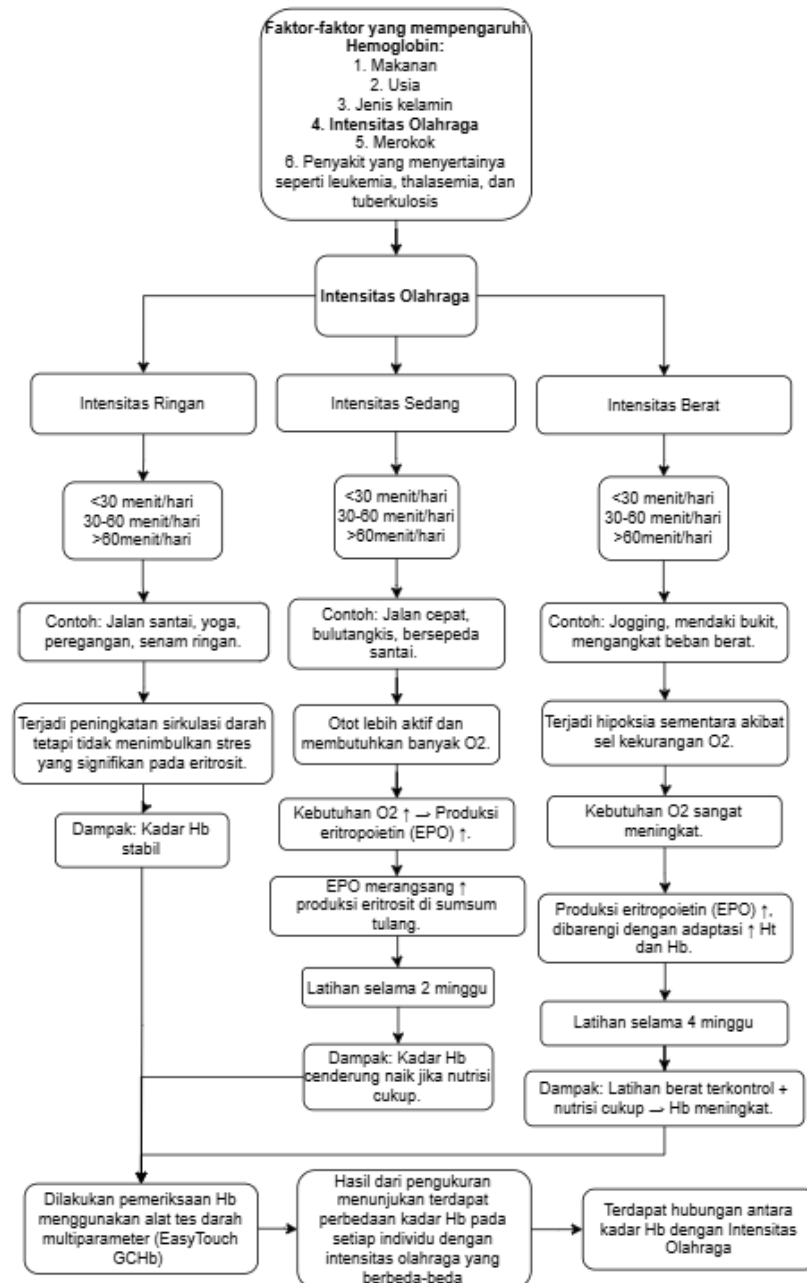
Penelitian lain yang dilakukan oleh Yunus juga menunjukkan hasil serupa dimana pada penelitian tersebut sebanyak 20 mahasiswa diberi perlakuan berupa latihan senam aerobik intensitas sedang sebanyak tiga kali per minggu selama delapan minggu dengan durasi 30 menit per sesi dan hasilnya menunjukkan adanya perubahan signifikan berupa penurunan rata-rata fragilitas osmotik eritrosit yang mengindikasikan peningkatan ketahanan membran sel darah merah serta peningkatan jumlah eritrosit secara signifikan. Adaptasi tersebut dijelaskan melalui mekanisme latihan aerobik yang menimbulkan kondisi hipoksia sehingga merangsang produksi eritropoietin (EPO) dan meningkatkan eritropoiesis dan respons tubuh terhadap stres oksidatif akibat latihan juga meningkatkan kapasitas antioksidan seluler yang berkontribusi terhadap peningkatan ketahanan membran eritrosit.<sup>38</sup> Temuan ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Hashida yang

melaporkan adanya peningkatan ketahanan eritrosit dan jumlah sel darah merah setelah melakukan latihan aerobik dengan intensitas sedang.<sup>39</sup>

Di sisi lain penelitian oleh Adrianto dkk yang dilakukan pada 33 mahasiswi kedokteran selama satu bulan membandingkan kelompok yang melakukan senam aerobik selama 60 menit dengan kelompok yang tidak berolahraga dimana hasil penelitian menunjukkan penurunan kadar hemoglobin dan tidak ditemukan perbedaan yang nyata antara kedua kelompok tersebut dikarenakan oleh karakteristik senam aerobik sebagai olahraga dengan intensitas sedang hingga berat yang dapat menyebabkan kekurangan oksigen pada otot dan membuat kondisi hipoksia sehingga otot mengompensasi kebutuhan oksigen dengan metabolisme anaerob yang menghasilkan asam laktat yang menyebabkan sel darah merah dan hemoglobin menjadi lebih rentan terhadap kerusakan sehingga dapat menurunkan kadar hemoglobin.<sup>40</sup>

Sejalan dengan penelitian dari Rini, terdapat pengaruh dan hubungan antara kadar Hb dengan cabang olahraga tertentu,<sup>35</sup> tetapi dari penelitian Heriyanto dkk menyatakan bahwa tidak ada pengaruh antara aktivitas fisik ringan dan berat terhadap kadar hemoglobin.<sup>41</sup>

## 2.5 Kerangka Pemikiran



Gambar 2.5 Kerangka Pemikiran

## **2.6 Hipotesis Penelitian**

H0: Tidak terdapat hubungan antara kadar Hb dengan intensitas olahraga mahasiswa FK UNPAS 2025.

H1: Terdapat hubungan antara kadar Hb dengan intensitas olahraga mahasiswa FK UNPAS 2025.