

## HUBUNGAN KADAR HEMOGLOBIN TERHADAP NILAI VO<sub>2</sub>MAX PADA ATLET KONI JAWA TIMUR

Muhammad Daffa Akbar Alamsyah<sup>1</sup>, Kartika Prahasanti<sup>2</sup>, Afrita Amalia Laitupa<sup>3</sup>, Nurma Yulianasari<sup>2</sup>

- 1) Fakultas Kedokteran Universitas Muhammadiyah Surabaya
- 2) Departemen Fisiologi Fakultas Kedokteran Universitas Muhammadiyah Surabaya
- 3) Departemen Pulmonologi Fakultas Kedokteran Universitas Muhammadiyah Surabaya

### Abstrak

**Latar Belakang:** Hemoglobin berperan penting dalam mengangkut oksigen ke jaringan tubuh, yang berpengaruh terhadap kapasitas aerobik seseorang. VO<sub>2</sub>Max merupakan indikator utama kebugaran kardiorespirasi dan sering digunakan dalam menilai performa atlet. **Tujuan:** Mengetahui hubungan antara kadar hemoglobin dan nilai VO<sub>2</sub>Max pada atlet KONI Jawa Timur. **Metode:** Penelitian observasional analitik dengan pendekatan potong lintang ini melibatkan 53 atlet. Kadar hemoglobin diukur melalui pemeriksaan laboratorium darah rutin, sedangkan VO<sub>2</sub>Max diestimasi dengan Multistage Fitness Test. Analisis bivariat menggunakan uji Pearson dengan tingkat signifikansi  $p < 0,05$ . **Hasil:** Rerata hemoglobin keseluruhan adalah  $14,99 \pm 1,42$  g/dL, sedangkan rata-rata VO<sub>2</sub>Max sebesar  $34,4 \pm 9,58$  mL/kg/menit. Uji korelasi menunjukkan nilai  $r = 0,085$  dengan  $p = 0,545$ , yang berarti tidak terdapat hubungan signifikan antara kadar hemoglobin dan VO<sub>2</sub>Max. **Kesimpulan:** Tidak ditemukan hubungan bermakna antara kadar hemoglobin dan VO<sub>2</sub>Max pada atlet KONI Jawa Timur. Faktor lain di luar hemoglobin kemungkinan lebih berpengaruh terhadap kapasitas aerobik.

**Kata Kunci:** Hemoglobin, VO<sub>2</sub>Max, Atlet, KONI Jawa Timur, Multistage Fitness Test.

### PENDAHULUAN

Olahraga merupakan suatu bentuk aktivitas fisik yang dilakukan secara sistematis dan terukur dengan tujuan utama untuk meningkatkan kebugaran jasmani serta menunjang pencapaian prestasi atletik. Dalam upaya mencapai prestasi optimal, seorang atlet dituntut memiliki kondisi fisik yang prima, terutama dalam hal daya tahan kardiorespirasi (Wulandari, Kaidah and Hudani, 2022). Salah satu indikator penting yang digunakan untuk menilai kapasitas daya tahan kardiorespirasi adalah VO<sub>2</sub>Max, yakni volume maksimal oksigen yang dapat diserap, diangkut, dan dimanfaatkan oleh tubuh selama melakukan aktivitas fisik atau latihan intensif (P.O and U.G, 2016). Salah satu faktor eksternal yang berkontribusi terhadap nilai VO<sub>2</sub>Max adalah kadar hemoglobin dalam darah. Peningkatan kadar hemoglobin diketahui dapat meningkatkan nilai VO<sub>2</sub>Max pada atlet, sebagaimana terlihat pada penggunaan eritropoietin rekombinan manusia (rhEPO) yang berfungsi merangsang produksi hemoglobin (Debbian and Rismayanthi, 2016). Hemoglobin sendiri berperan vital dalam proses pengikatan serta transportasi oksigen dari paru-paru ke jaringan tubuh. Dengan kadar hemoglobin yang lebih tinggi, distribusi oksigen ke jaringan otot menjadi lebih efisien, terutama selama aktivitas fisik yang memerlukan intensitas tinggi (Younesi et al., 2021).

Banyak atlet Indonesia yang masih memiliki nilai  $VO_2\text{Max}$  di bawah rata-rata. Kenyataannya,  $VO_2\text{Max}$  yang optimal dapat menjadi Langkah preventif kelelahan berlebihan selama aktivitas olahraga, sehingga atlet mampu tampil dengan maksimal (Tumiwa et al., 2016). Fakta menunjukkan bahwa banyak atlet mudah merasa lelah saat bertanding, yang mengindikasikan bahwa kebugaran fisik mereka belum mencapai tingkat optimal. Hal ini menandakan adanya gangguan pada fungsi paru dan sistem peredaran darah dalam menyediakan oksigen secara memadai selama latihan dan pertandingan yang intens. Oleh karena itu, penting untuk menilai dua faktor utama yang memengaruhi  $VO_2\text{Max}$ , yaitu kadar hemoglobin. kadar hemoglobin mencerminkan kemampuan darah untuk membawa oksigen. Dengan mengoptimalkan faktor tersebut, nilai  $VO_2\text{Max}$  dapat meningkat secara signifikan, yang pada akhirnya mendukung peningkatan performa atlet (Falces-Prieto et al., 2021; Younesi et al., 2021).

Penelitian-penelitian sebelumnya secara konsisten menunjukkan bahwa kadar hemoglobin memiliki peran penting dalam peningkatan  $VO_2\text{Max}$ . (Saber, Fathi and Hejazi, 2020)) menemukan bahwa kadar hemoglobin yang lebih tinggi meningkatkan kemampuan darah dalam mengangkut oksigen, yang secara langsung berdampak pada peningkatan kapasitas aerobik dan daya tahan fisik atlet. Temuan tersebut diperkuat oleh (Falces-Prieto et al., 2021), yang menekankan pentingnya pemantauan rutin kadar hemoglobin untuk memastikan kesiapan fisik optimal sebelum pertandingan. Penelitian-penelitian ini menyoroiti bahwa hemoglobin yang cukup penting dalam mendukung distribusi oksigen yang cepat dan efisien ke otot-otot aktif, terutama dalam aktivitas olahraga dengan intensitas tinggi. Namun, sebagian besar studi yang ada masih dilakukan di negara-negara maju dengan kondisi pelatihan dan fasilitas yang berbeda dari Indonesia. Perlunya penelitian yang lebih kontekstual pada populasi atlet di Indonesia untuk mendapatkan pemahaman yang lebih relevan terkait hubungan antara kadar hemoglobin dan  $VO_2\text{Max}$  (Lestari and Susilawati, 2024).

Melalui penelitian ini, peneliti berharap dapat memperoleh data yang menunjukkan hubungan signifikan antara kadar hemoglobin dan  $VO_2\text{Max}$ . Jika terbukti bermanfaat, Temuan dalam penelitian ini diharapkan dapat memperluas wawasan ilmiah terkait determinan fisiologis yang memengaruhi kapasitas  $VO_2\text{Max}$  pada individu, khususnya dalam konteks performa atletik. Penelitian ini mencakup pengukuran kadar hemoglobin dan  $VO_2\text{Max}$  pada seluruh atlet yang tergabung dalam KONI Jawa Timur. Diharapkan, hasilnya dapat berkontribusi dalam perancangan program latihan yang lebih efektif serta meningkatkan perhatian terhadap kesehatan atlet, guna mendukung peningkatan kebugaran fisik mereka. Selain itu, penelitian ini juga diharapkan menjadi referensi bagi studi lanjutan yang lebih mendalam. Pemahaman yang lebih menyeluruh tentang hubungan antara kedua variabel ini dapat menjadi dasar bagi penelitian maupun intervensi kesehatan di masa depan, serta memberikan kontribusi positif dalam pengembangan ilmu terkait kesehatan atlet..

## METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan rancangan observasional analitik yang bertujuan untuk mengidentifikasi hubungan antara dua variabel. Metode yang digunakan adalah cross-sectional, yaitu suatu desain penelitian yang memungkinkan pengamatan atau pengukuran variabel independen (faktor risiko) dan variabel dependen (efek) dilakukan secara bersamaan pada satu titik waktu tertentu. Melalui pendekatan ini, data dapat diperoleh mengenai jumlah subjek yang mengalami efek, baik pada kelompok yang terpapar faktor risiko maupun pada kelompok yang tidak terpapar, sehingga memungkinkan analisis hubungan antara paparan dan akibatnya (Darma Sari and Legiran, 2024). Metode cross sectional dipilih karena peneliti ingin mengetahui hasil dari penelitian hubungan kadar hemoglobin terhadap nilai VO<sub>2</sub>Max pada atlet KONI Jawa Timur terdapat perubahan atau tidak. Atas dasar rancangan sampel ini maka akan dilakukan penelitian hubungan kadar hemoglobin terhadap nilai VO<sub>2</sub>Max pada atlet KONI Jawa Timur.

Analisis data dalam penelitian ini dilakukan secara bivariat untuk menilai hubungan antara dua variabel. Pengolahan data akan dilakukan menggunakan aplikasi SPSS versi 27 pada perangkat komputer. Untuk menguji pengaruh dan kekuatan hubungan antar variabel, digunakan uji korelasi Pearson, yang merupakan metode parametrik untuk mengukur hubungan linear antara variabel-variabel tersebut.

## HASIL

Pengambilan sampel diambil dari jenis kelamin, cabang olahraga dan usia. sampel penelitian dipilih dengan prosedur probability sampling, yaitu Simple Random Sampling dan memenuhi kriteria inklusi dan eksklusi penelitian yang berjumlah 53 atlet dari seluruh cabang.

**Tabel 1.** Karakteristik Sampel

<b>Karakteristik</b>	
<b>Jenis kelamin</b>	
Laki-laki	37 (69,81%)
Perempuan	16 (30,19%)
<b>Cabang Olahraga</b>	
Aeromodelling	4 (7,55%)
Anggar	2 (3,77%)
Angkat Besi	5 (9,43%)
Atletik	16 (30,19%)
Billiard	2 (3,77%)
Gulat	16 (30,19%)
Panahan	1 (1,89%)
Wushu Taolu	7 (13,21%)

Berdasarkan Tabel 1, jumlah atlet perempuan KONI Jawa Timur sebanyak 16 orang dengan persentase 30,19% dan untuk jumlah atlet laki-laki KONI Jawa Timur sebanyak 37 orang dengan persentase 69,81%. Cabang olahraga yang paling banyak pada karakteristik responden adalah atletik dan gulat dengan jumlah 16 orang serta 30,19%

untuk persentasenya dan untuk cabang olahraga yang paling sedikit adalah panahan sejumlah 1 orang dengan persentase 1,89%.

Analisis Univariat dilakukan untuk dapat menjelaskan karakteristik dari variabel uji. Data hasil penelitian dihitung rerata, standar deviasi, dan median dari nilai usia, hemoglobin, VO<sub>2</sub>Max, MFT. Berdasarkan hasil rerata dapat dilakukan klasifikasi derajat hemoglobin dan VO<sub>2</sub>Max sehingga didapatkan klasifikasi yang tersaji pada Tabel 3 dan 4 serta gambaran grafik penyebaran usia atlet dalam Gambar 1.

**Tabel 1.** Analisis Univariat Usia Sampel

	<b>Rerata ± SD</b>	<b>Median</b>	<b>Modus</b>
	27,37 ± 7,09	26	22

**Tabel 2.** Analisis Univariat Hemoglobin Sampel

	<b>Rerata ± SD</b>	<b>Median</b>	<b>Modus</b>	<b>Modus Derajat</b>
Laki-laki	15,66 (0,03) ± 1,11 (0,16)	15,9	16,4	Normal
Perempuan	13,43 (0) ± 0,68 (0)	13,25	13,2	Normal
Total	14,99 (0,02) ± 1,42 (0,13)	15,2	16,4	Normal

**Tabel 3.** Analisis Univariat VO<sub>2</sub>Max Sampel

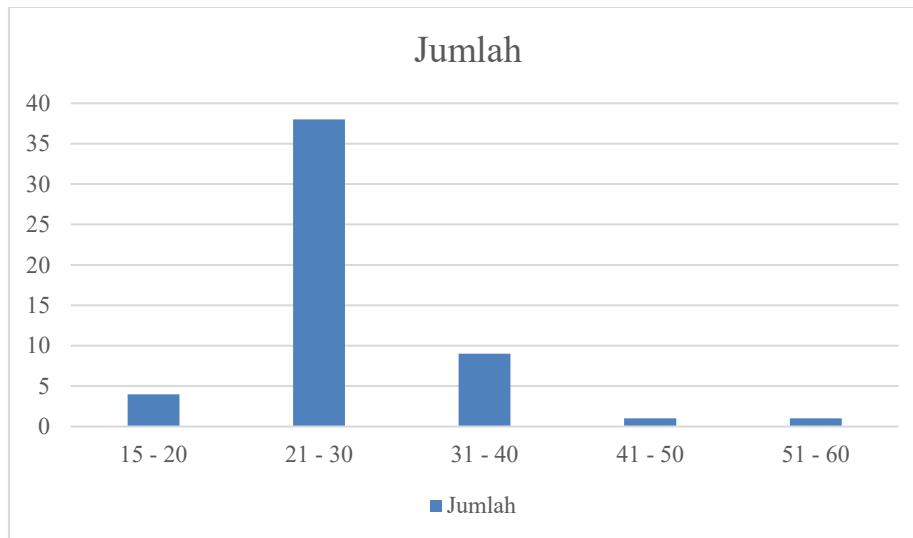
	<b>Rerata ± SD</b>	<b>Median</b>	<b>Modus</b>	<b>Modus Derajat</b>
Laki-laki	35,8 (2,56) ± 9,65 (1,50)	36,0	33,9	Sangat Buruk
Perempuan	31,3 (2) ± 9,24 (1,31)	28,8	22,5	Sangat Buruk
Total	34,4 (2,39) ± 9,58 (1,44)	33,9	33,9	Sangat Buruk

**Tabel 4.** Analisis Univariat MFT Level Sampel

	<b>Rerata ± SD</b>	<b>Median</b>	<b>Modus</b>
Laki-laki	6 ± 2,87	6	8
Perempuan	5 ± 2,74	4	2
Total	6 ± 2,86	6	8

**Tabel 5.** Analisis Univariat MFT Stage Sampel

	<b>Rerata ± SD</b>	<b>Median</b>	<b>Modus</b>
Laki-laki	4 ± 2,86	3	3
Perempuan	5 ± 2,86	5	5
Total	4 ± 2,87	3	3



**Gambar 1.** Diagram Persebaran Usia

Berdasarkan Gambar 1 didapatkan bahwa pada atlet didominasi oleh orang-orang yang berusia 21-30 dan diisi juga oleh beberapa orang dengan usia 41-50 dan 51-60.

**Tabel 6.** Analisis Bivariat Hasil Uji Korelasi

		<b>Hemoglobin</b>	<b>VO<sub>2</sub>Max</b>
<b>Hemoglobin</b>	Pearson Korelasi	1,000	0,085
	Signifikansi		0,545
<b>VO<sub>2</sub>Max</b>	Pearson Korelasi	0,085	1,000
	Signifikansi	0,545	

Uji korelasi Pearson dilakukan untuk mengetahui hubungan antara kadar hemoglobin dan nilai VO<sub>2</sub>Max pada responden sebanyak 53 orang. Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai koefisien korelasi Pearson antara kedua variabel adalah sebesar 0,085, dengan nilai signifikansi (Sig. 2-tailed) sebesar 0,545.

Nilai koefisien korelasi yang mendekati nol ini menunjukkan bahwa terdapat hubungan yang sangat lemah dan cenderung tidak bermakna antara kadar hemoglobin dan VO<sub>2</sub>Max. Selain itu, nilai signifikansi yang lebih besar dari 0,05 ( $p > 0,05$ ) mengindikasikan bahwa hubungan antara kedua variabel tersebut tidak signifikan secara statistik.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa dalam penelitian ini tidak ditemukan hubungan yang signifikan antara kadar hemoglobin dengan kapasitas maksimal oksigen (VO<sub>2</sub>Max) pada responden yang diteliti. Artinya, perbedaan kadar hemoglobin tidak berpengaruh secara langsung terhadap variasi nilai VO<sub>2</sub>Max dalam populasi ini.

## DISKUSI

### Pengaruh VO<sub>2</sub>Max pada Kadar Hemoglobin Atlet

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hubungan antara kadar hemoglobin terhadap nilai VO<sub>2</sub>Max pada atlet KONI Jawa Timur. Berdasarkan hasil uji korelasi Pearson, diperoleh nilai koefisien korelasi sebesar 0,085 dengan nilai signifikansi 0,545. Hasil ini menunjukkan bahwa kadar hemoglobin dengan nilai VO<sub>2</sub>Max pada sampel atlet yang diteliti tidak terdapat hubungan yang signifikan. Sementara itu hemoglobin memiliki peran penting dalam mengangkut oksigen ke jaringan tubuh dan sangat berkontribusi terhadap metabolisme aerobik, yang tercermin dalam nilai VO<sub>2</sub>Max. Hemoglobin membawa oksigen dari paru-paru ke otot aktif yang digunakan selama aktivitas fisik intens, sehingga semakin tinggi kadar hemoglobin, maka kemampuan transportasi oksigen akan meningkat (Ferrari et al., 2015; Gell, 2018).

Dalam dunia olahraga, kadar hemoglobin yang cukup seharusnya dapat meningkatkan kapasitas aerobik seseorang. Penelitian terdahulu oleh Wulandari, Kaidah dan Hudani (2022) menunjukkan bahwa sekitar 93,75% dari studi yang dikaji menemukan hubungan signifikan antara kadar hemoglobin dan VO<sub>2</sub>Max pada atlet. Namun, temuan dalam penelitian ini tidak mendukung hipotesis tersebut, yang bisa disebabkan oleh adanya variasi biologis dan faktor lain yang tidak terkontrol dalam penelitian seperti status gizi, kebiasaan merokok, perbedaan jenis kelamin, dan kondisi kesehatan individu.

Dari sisi fisiologis, kemampuan tubuh untuk mengonsumsi oksigen secara maksimal sangat dipengaruhi oleh kinerja sistem kardiovaskular dan pernapasan. VO<sub>2</sub>Max mengukur kapasitas maksimal tubuh dalam menggunakan oksigen (Akalan, Kravitz and Robergs, 2004). Semestinya, hemoglobin yang tinggi meningkatkan kemampuan transportasi oksigen, dan mendukung peningkatan VO<sub>2</sub>Max. Tetapi dalam hasil penelitian ini, nilai VO<sub>2</sub>Max rata-rata responden berada pada kategori "sangat buruk", yaitu rerata 34,4 ml/kg/menit. Kondisi ini mungkin menunjukkan bahwa meskipun kadar hemoglobin normal, aspek lain seperti volume paru, kekuatan otot jantung, dan intensitas latihan tidak mendukung peningkatan VO<sub>2</sub>Max.

Faktor lainnya adalah kemungkinan terjadinya plateau fisiologis pada atlet yang sudah terbiasa dengan beban latihan tertentu. Peningkatan hemoglobin tidak selalu diikuti dengan peningkatan VO<sub>2</sub>Max jika latihan yang dilakukan tidak menantang atau tidak sesuai prinsip periodisasi latihan. Hal ini sejalan dengan pendapat. (Hariyanti et al., 2017), yang menyatakan bahwa hubungan hemoglobin dan VO<sub>2</sub>Max sangat bergantung pada konsistensi dan kualitas latihan fisik.

Selain itu, hasil pemeriksaan VO<sub>2</sub>Max dalam penelitian ini diperoleh melalui metode Multistage Fitness Test (MFT), yang meskipun memiliki validitas cukup tinggi ( $r = 0,87$ ), tetap memiliki keterbatasan dalam menggambarkan kapasitas oksigen maksimal secara klinis (Paradisis et al., 2014). Perbedaan metode pengukuran antara penelitian ini dan penelitian sebelumnya dapat mempengaruhi hasil korelasi yang diperoleh.

Dengan demikian, ketidaksignifikanan hubungan ini menandakan bahwa dalam konteks atlet KONI Jawa Timur, kadar hemoglobin saja tidak cukup menjadi indikator prediktif untuk menentukan tinggi rendahnya  $VO_2Max$ . Penilaian kebugaran fisik harus mempertimbangkan lebih banyak parameter fisiologis secara menyeluruh.

Tinggi atau rendahnya kadar hemoglobin tidak selalu sejalan dengan peningkatan nilai  $VO_2Max$ . Nilai  $VO_2Max$  berhubungan langsung dengan kapasitas seseorang dalam melakukan aktivitas fisik, di mana semakin tinggi  $VO_2Max$ , maka daya tahan tubuh meningkat dan tingkat kelelahan selama aktivitas menurun (Jannah and Widodo, 2020). Faktor utama dalam peningkatan  $VO_2Max$  adalah program latihan fisik yang terstruktur dan dirancang secara sistematis. Latihan dengan intensitas dan durasi yang tepat dapat memengaruhi kapasitas paru-paru secara fisiologis, di mana peningkatan frekuensi latihan dapat memperbesar volume paru dan meningkatkan jumlah oksigen yang dapat dihirup dan dimanfaatkan oleh sel otot saat beraktivitas. Latihan fisik yang dilakukan secara konsisten dan berulang-ulang terbukti mampu memodifikasi nilai  $VO_2Max$ , sedangkan kadar hemoglobin cenderung tidak mengalami perubahan yang signifikan.

Hemoglobin tetap dapat menjalankan fungsinya secara optimal selama berada dalam rentang normal fisiologis; baik kadar yang terlalu rendah maupun terlalu tinggi tidak memberikan keuntungan tambahan dalam meningkatkan kapasitas aerobik. Hal ini sejalan dengan temuan (Pambuka Putra et al., 2017) yang menyatakan bahwa meskipun terdapat korelasi antara perubahan eritrosit, hemoglobin, dan hematokrit setelah latihan High Intensity Interval Training (HIIT), namun tidak ditemukan hubungan signifikan dengan peningkatan  $VO_2Max$ . Oleh karena itu, diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mengeksplorasi mekanisme lain yang mungkin memengaruhi peningkatan kapasitas aerobik selain parameter hematologi.

Peningkatan  $VO_2Max$  tidak diiringi dengan peningkatan hemoglobin, eritrosit dan hematokrit. Peningkatan  $VO_2Max$  tidak berhubungan dengan perubahan nilai hemoglobin, eritrosit dan hematokrit sehingga diduga ada mekanisme lain yang mempengaruhi. Peningkatan jumlah mitokondria diduga merupakan mekanisme yang menyebabkan peningkatan  $VO_2Max$ , namun studi lebih lanjut perlu dilakukan untuk membuktikan dugaan tersebut.  $VO_2Max$  dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu faktor suplai dan faktor konsumsi. Faktor suplai meliputi sistem ventilasi dan transportasi oksigen melibatkan saluran nafas, sistem peredaran darah hingga berada di mitokondria sel yang membutuhkan, sedangkan faktor konsumsi merujuk pada mekanisme fosforilasi atau penggunaan oksigen oleh mitokondria di dalam sel (Pambuka Putra et al., 2017).

Terdapat studi longitudinal oleh (Eastwood et al., 2009) meneliti hubungan antara massa hemoglobin dan kapasitas oksigen maksimal ( $VO_2Max$ ) pada remaja selama 12 bulan. Hasil awal menunjukkan korelasi tinggi antara  $VO_2max$  relatif dan massa hemoglobin relatif, baik pada kelompok atlet muda maupun kelompok kontrol. Meskipun  $VO_2Max$  relatif meningkat signifikan pada kelompok pesepeda, tidak ditemukan peningkatan yang sepadan pada massa hemoglobin relatif. Temuan ini mendukung hipotesis bahwa peningkatan  $VO_2Max$  pada remaja tidak semata-mata

ditentukan oleh peningkatan kapasitas angkut oksigen darah, tetapi juga oleh faktor lain seperti peningkatan fungsi jantung, difusi paru, atau adaptasi otot. Lebih lanjut, penelitian ini menunjukkan bahwa massa hemoglobin cenderung stabil dalam jangka panjang pada remaja yang menjalani pelatihan aerobik, sehingga memperkuat anggapan bahwa komponen ini bersifat herediter. Dengan demikian, massa hemoglobin berpotensi digunakan sebagai alat identifikasi bakat untuk olahraga daya tahan, mengingat remaja dengan nilai massa hemoglobin tinggi cenderung memiliki  $VO_2Max$  yang tinggi pula. Meskipun demikian, tidak adanya data tentang tahap kematangan biologis dan komposisi tubuh menjadi keterbatasan utama dalam studi ini. Oleh karena itu, penelitian lanjutan dengan mempertimbangkan faktor-faktor tersebut sangat diperlukan untuk memahami secara menyeluruh mekanisme peningkatan kapasitas aerobik pada masa remaja.

### **Faktor-Faktor yang Berpotensi Memengaruhi Nilai $VO_2Max$ Selain Hemoglobin**

Meskipun hemoglobin secara fisiologis berperan penting dalam pengangkutan oksigen dan secara teori seharusnya memengaruhi nilai  $VO_2Max$ , hasil penelitian ini menunjukkan tidak adanya hubungan yang signifikan antara kedua variabel tersebut. Temuan ini membuka ruang diskusi mengenai faktor-faktor lain yang secara potensial lebih dominan dalam memengaruhi kapasitas aerobik atlet.

Eritrosit dan hemoglobin merupakan beberapa faktor yang mempengaruhi nilai  $VO_2Max$  dari sudut pandang faktor suplai dan distribusi oksigen menuju mitokondria sel yang membutuhkan karena hemoglobin yang menjadi media pengangkut oksigen dalam sistem peredaran darah (Guyton, 2011; Sherwood, 2015). Namun hasil penelitian ini membuktikan bahwa eritrosit dan hemoglobin tidak mengalami peningkatan nilai yang signifikan sehingga dapat dikatakan bahwa faktor suplai tidak mengalami perubahan setelah subyek menjalani Latihan dengan metode High Intensity Interval Training selama 8 minggu. Hal tersebut serupa dengan studi yang dilakukan oleh (Menz et al., 2015) bahwa tidak ada peningkatan dari parameter hematologi (termasuk hemoglobin) setelah latihan High Intensity Interval Training selama 3 minggu. Diduga  $VO_2max$  meningkat karena faktor konsumsi atau kebutuhan yang mengalami peningkatan setelah High Intensity Interval Training melalui mekanisme penambahan jumlah atau mungkin peningkatan ukuran mitokondria.

Salah satu faktor yang sangat penting adalah kapasitas dan fungsi paru-paru, yang menjadi komponen utama dalam proses pertukaran gas oksigen dan karbon dioksida.  $VO_2Max$  mencerminkan efisiensi sistem pernapasan dalam menyuplai oksigen ke jaringan otot saat aktivitas maksimal. Sistem ini bekerja secara sinergis dengan sistem kardiovaskular dan jaringan otot, sehingga gangguan pada salah satu komponen dapat menurunkan  $VO_2Max$  meskipun kadar hemoglobin cukup. Selain itu, daya tahan paru juga dapat menurun akibat riwayat infeksi saluran napas, alergi, atau paparan polusi udara yang tidak dinilai dalam penelitian ini.

Komposisi tubuh seperti persentase lemak tubuh dan massa otot turut memengaruhi nilai  $VO_2Max$ . Atlet dengan massa otot yang lebih besar dan kadar lemak yang rendah cenderung memiliki kapasitas oksigen yang lebih tinggi karena otot aktif memerlukan

oksigen dalam jumlah besar selama aktivitas. Meskipun kadar hemoglobin dalam darah cukup, jika distribusi jaringan otot dan lemak tidak proporsional, efisiensi metabolisme aerobik pun dapat terganggu.

Kebugaran jantung dan sistem kardiovaskular juga berperan besar dalam menentukan nilai  $VO_2Max$ . Jantung sebagai pompa utama harus mampu memompa darah dengan volume dan tekanan yang optimal untuk mendistribusikan oksigen ke seluruh tubuh. Kadar hemoglobin yang tinggi belum tentu meningkatkan  $VO_2Max$  apabila fungsi jantung tidak mendukung efisiensi sirkulasi oksigen, seperti dalam kasus hipertrofi yang tidak adaptif atau kelainan katup jantung yang tersembunyi.

Intensitas dan jenis latihan juga menjadi faktor kunci yang memengaruhi  $VO_2Max$ . Atlet yang terbiasa dengan latihan aerobik intensitas tinggi dan terstruktur memiliki adaptasi fisiologis yang lebih baik dalam penggunaan oksigen, seperti peningkatan mitokondria dan efisiensi penggunaan energi di tingkat sel. Metode pelatihan di ketinggian atau dengan hipoksia intermiten bahkan dilaporkan dapat meningkatkan konsentrasi hemoglobin dan efisiensi metabolik (Hauser et al., 2017), namun bentuk latihan ini belum tentu diterapkan secara merata pada seluruh atlet KONI Jawa Timur yang menjadi responden penelitian.

Aspek nutrisi juga tak kalah penting, kekurangan zat besi, vitamin B12, dan asam folat dapat memengaruhi proses eritropoiesis dan kualitas hemoglobin. Namun, lebih dari itu, kekurangan makronutrien seperti karbohidrat dan protein serta hidrasi yang tidak adekuat akan mengganggu kapasitas tubuh dalam mempertahankan performa selama aktivitas fisik berat. Artinya, meskipun kadar hemoglobin masuk kategori normal, efisiensi kerja otot tetap dapat menurun karena kekurangan energi atau ketidakseimbangan elektrolit.

Faktor lingkungan seperti ketinggian tempat tinggal dan suhu udara juga berpengaruh terhadap performa  $VO_2Max$ . Individu yang tinggal di daerah dataran tinggi cenderung memiliki adaptasi fisiologis berupa peningkatan produksi hemoglobin. Sebaliknya, atlet yang hidup di dataran rendah dan tidak mendapatkan adaptasi khusus bisa memiliki kadar hemoglobin yang sama tetapi kapasitas  $VO_2Max$  lebih rendah karena adaptasi sistem pernapasan dan sirkulasinya berbeda.

Terakhir, faktor psikologis dan motivasional yang tidak terukur secara objektif dalam penelitian ini juga bisa berkontribusi.  $VO_2Max$  yang diperoleh melalui MFT sangat tergantung pada dorongan internal dan semangat peserta untuk bertahan dalam tes. Atlet yang secara psikologis tidak dalam kondisi optimal atau kurang termotivasi bisa saja menunjukkan nilai  $VO_2Max$  yang lebih rendah dari kapasitas sebenarnya, meskipun kadar hemoglobinya mencukupi.

### **Keterbatasan Penelitian**

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan dalam interpretasi hasil. Jumlah sampel sebanyak 53 atlet, meskipun telah memenuhi syarat minimal berdasarkan rumus Lameshow, masih tergolong terbatas untuk mewakili keseluruhan populasi atlet KONI Jawa Timur yang memiliki variasi cabang olahraga

dan intensitas latihan. Keterbatasan ini berpotensi mengurangi tingkat generalisasi hasil terhadap populasi yang lebih luas.

Desain penelitian yang bersifat cross-sectional juga menjadi kendala karena hanya menggambarkan hubungan kadar hemoglobin dan  $VO_2\text{Max}$  pada satu titik waktu. Pendekatan ini tidak mampu mengevaluasi perubahan kedua variabel yang mungkin terjadi akibat program latihan, musim kompetisi, atau kondisi fisiologis yang dinamis. Selain itu, sejumlah faktor perancu seperti asupan nutrisi, status hidrasi, kebiasaan merokok, dan kondisi kesehatan ringan tidak dikontrol, sementara itu variabel-variabel tersebut diketahui dapat memengaruhi kadar hemoglobin dan kapasitas aerobik.

Metode pengukuran  $VO_2\text{Max}$  menggunakan MFT, meskipun praktis dan memiliki validitas memadai, tetap merupakan metode estimasi yang dapat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan serta motivasi individu saat pengujian. Selain itu, penelitian ini tidak melakukan analisis subkelompok berdasarkan jenis kelamin, cabang olahraga, atau tingkat pengalaman atlet, yang sejatinya dapat memberikan informasi tambahan mengingat pengaruh signifikan variabel-variabel tersebut terhadap kadar hemoglobin dan  $VO_2\text{Max}$ . Dengan demikian, hasil penelitian ini perlu ditafsirkan secara hati-hati, serta menjadi pijakan awal untuk penelitian lanjutan yang lebih mendalam dan terkontrol.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, diperoleh bahwa kadar hemoglobin rata-rata pada atlet KONI Jawa Timur, baik laki-laki maupun perempuan, berada dalam kategori normal. Namun, hasil pengukuran  $VO_2\text{Max}$  menggunakan metode Multistage Fitness Test (MFT) menunjukkan bahwa sebagian besar atlet hanya mencapai stage 3 level 8, yang termasuk kategori “sangat buruk” dalam kapasitas aerobik. Temuan ini mengindikasikan bahwa kadar hemoglobin yang normal tidak secara otomatis mencerminkan tingkat kebugaran aerobik yang optimal. Meskipun hemoglobin berperan penting dalam transportasi oksigen,  $VO_2\text{Max}$  juga dipengaruhi oleh berbagai faktor lain seperti fungsi paru, tingkat kebugaran fisik, dan komposisi tubuh. Pemeriksaan penunjang seperti darah lengkap dan urinalisis telah dilakukan, namun keterbatasan data dan waktu menyebabkan hasilnya tidak dibahas secara mendalam dalam penelitian ini.

## REFERENSI

- Akalan, C., Kravitz, L. and Robergs, R.R. (2004) ‘ $\dot{V}O_2\text{max}$ : Essentials of the most widely used test in exercise physiology’, *ACSM’s Health and Fitness Journal*, 8(3), pp. 5–9. Available at: <https://doi.org/10.1097/00135124-200405000-00004>.
- Alfarizi, A. *et al.* (2023) ‘Tingkat Volume Oksigen Maksimal (  $VO_2\text{MAX}$  ) Pemain Sepakbola Intan Jaya U-23’, 14, pp. 61–68.
- Amin, N.F., Garancang, S. and Abunawas, K. (2023) ‘Konsep Umum Populasi dan Sampel dalam Penelitian’, *Jurnal Pilar*, 14(1), pp. 15–31.

Arief Satria Ramadan *et al.* (2024) 'Analisis Daya Tahan Aerobik (Vo2Max) Menggunakan Tes Mft Atlet Dojang Speed Taekwondo Kabupaten Pelalawan Provinsi Riau', *Indonesian Journal of Sport Science and Technology (IJST)*, 3(1), pp. 267–275. Available at: <https://doi.org/10.31316/ijst.v3i1.6019>.

Arya T Candra and Moh Agung Setiabudi (2021) 'Analisis Tingkat Volume Oksige Maksimal VO2Max Camba Prodi Pjkr', *Jurnal Pendidikan Kesehatan Rekreasi*, 7(1), pp. 10–17.

Astuti, R.W. (2019) 'Hematokrit Dan Kadar Hemoglobin Dengan Konsumsi Oksigen Maksimal (Vo2Maks) Pada Atlet Remaja', *Medika Respati : Jurnal Ilmiah Kesehatan*, 14(2), p. 151. Available at: <https://doi.org/10.35842/mr.v14i2.250>.

Barrera-Reyes, P.K. and Tejero, M.E. (2019) 'Genetic variation influencing hemoglobin levels and risk for anemia across populations', *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1450(1), pp. 32–46. Available at: <https://doi.org/10.1111/nyas.14200>.

Batubara, A.A. and Sinaga, R.N. (2012) 'Hubungan kadar hemoglobin dan vo2 max pada atlet lari jarak jauh pplm unimed', 05.

Bruggisser, F. *et al.* (2024) 'A verification phase adds little value to the determination of maximum oxygen uptake in well-trained adults', *European Journal of Applied Physiology*, 124(6), pp. 1669–1681. Available at: <https://doi.org/10.1007/s00421-023-05388-w>.

Camaschella, C. (2015) 'Longo, D. L., & Camaschella, C. Iron-deficiency anemia. ', *The New England Journal of Medicine*, p. 1832. Available at: <https://doi.org/10.1056/NEJMra1401038>.

Darma Sari, S. and Legiran (2024) 'Desain Cross Sectional Bagi Penelitian Bidang Kebidanan', 1(1), pp. 18–25.

Debbian, A.R.S. and Rismayanthi, C. (2016) 'Profil Tingkat Volume Oksigen Maskimal (Vo2 Max) Dan Kadar Hemoglobin (Hb) Pada Atlet Yongmoodo Akademi Militer Magelang', *Jurnal Keperawatan Muhammadiyah*, 12(4), pp. 19–30. Available at: <https://doi.org/10.30651/jkm.v7i4.15014>.

Domenica Cappellini, M. and Motta, I. (2015) 'Anemia in Clinical Practice-Definition and Classification: Does Hemoglobin Change With Aging?', *Seminars in Hematology*, 52(4), pp. 261–269. Available at: <https://doi.org/10.1053/j.seminhematol.2015.07.006>.

Eastwood, A. *et al.* (2009) 'Longitudinal changes in haemoglobin mass and VO2max in adolescents', *European Journal of Applied Physiology*, 105(5), pp. 715–721. Available at: <https://doi.org/10.1007/s00421-008-0953-x>.

Falces-Prieto, M. *et al.* (2021) 'The Differentiate Effects of Resistance Training With or Without External Load on Young Soccer Players' Performance and Body Composition', *Frontiers in Physiology*, 12(November), pp. 1–11. Available at: <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.771684>.

- Ferrari, M. *et al.* (2015) 'Anemia and hemoglobin serum levels are associated with exercise capacity and quality of life in chronic obstructive pulmonary disease', *BMC Pulmonary Medicine*, 15(1), pp. 1–8. Available at: <https://doi.org/10.1186/s12890-015-0050-y>.
- Fitriyadi, G. (2018) 'Perbandingan Validitas Tes "V" "O" "2" "Max" Antara Metode Maksimal Dan Sub-Maksimal Pada Remaja', *Gelombang Pendidikan Jasmani Indonesia*, 2(2), p. 116. Available at: <https://doi.org/10.17977/um040v2i2p116-119>.
- Gell, D.A. (2018) 'Structure and function of haemoglobins', *Blood Cells, Molecules, and Diseases*, 70(October 2017), pp. 13–42. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.bcmed.2017.10.006>.
- Gore, C.J. *et al.* (2013) 'Altitude training and haemoglobin mass from the optimised carbon monoxide rebreathing method determined by a meta-Analysis', *British Journal of Sports Medicine*, 47(SUPPL. 1). Available at: <https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-092840>.
- Gunawan, S. *et al.* (2017) 'Hubungan Kadar Haemoglobin dan Kekuatan Otot Pernapasan dengan VO2MAX Pemain Sepak Bola Unsil United', 3(1), pp. 173–178.
- Guyton, A.C. (2011) *Guyton and Hall Textbook of Medical Physiology*.
- Haase, V.H. (2013) 'Regulation of erythropoiesis by hypoxia-inducible factors', *Blood Reviews*, 27(1), pp. 41–53. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.blre.2012.12.003>.
- Hariyanti, M.A. *et al.* (2017) 'Pengaruh Kadar HB dan FEV1 Terhadap VO2Max Atlet Softball', pp. 23–29.
- Hariyanti, M.A., Rahayu, N.I. and Pitriani, P. (2020) 'Hubungan Kadar Hemoglobin dan Vo2Max Pada Atlet Softball Putra', *Jurnal Terapan Ilmu Keolahragaan*, 5(1), pp. 16–21. Available at: <https://doi.org/10.17509/jtikor.v5i1.24191>.
- Hauser, A. *et al.* (2017) 'Individual hemoglobin mass response to normobaric and hypobaric "live high–train low": A one-year crossover study', *Journal of Applied Physiology*, 123(2), pp. 387–393. Available at: <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00932.2016>.
- Ihsan, A. (2024) 'Profil Kebugaran Kardiorespiratori : Penilaian VO2Max dengan Multistage Fitness Test pada Atlet Sepakbola FIK UNM', (1), pp. 90–94.
- Jannah, S. and Widodo, A. (2020) 'KONTRIBUSI HEMOGLOBIN TERHADAP NILAI VO2MAX SISWA SMA NEGERI 3 SIDOARJO Syaifathul Jannah Achmad Widodo', 08, pp. 95–100.
- Karakochuk, C.D. *et al.* (2019) 'Measurement and interpretation of hemoglobin concentration in clinical and field settings: a narrative review', *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1450(1), pp. 126–146. Available at: <https://doi.org/10.1111/nyas.14003>.
- Lestari, N. and Susilawati, I. (2024) 'Hubungan kapasitas vital paru dan kadar hemoglobin dengan vo2 max pada atlet sepak bola: studi korelasi di ani soccer

mataram', 11(2), pp. 90–102.

Menz, V. *et al.* (2015) 'Effect of 3-week high-intensity interval training on VO<sub>2</sub>max, total haemoglobin mass, plasma and blood volume in well-trained athletes', *European Journal of Applied Physiology*, 115(11), pp. 2349–2356. Available at: <https://doi.org/10.1007/s00421-015-3211-z>.

Molina-Garcia, P. *et al.* (2022) 'Validity of Estimating the Maximal Oxygen Consumption by Consumer Wearables: A Systematic Review with Meta-analysis and Expert Statement of the INTERLIVE Network', *Sports Medicine*, 52(7), pp. 1577–1597. Available at: <https://doi.org/10.1007/s40279-021-01639-y>.

Nidommudin, M. and Irawan, D. (2018) 'Analisis Penggunaan Multi Fitness Test Terhadap Kapasitas Oksigen Maksimal Pada Atlet Futsal', *Jurnal Prodi Pendidikan Jasmani & Kesehatan*, 6(3), pp. 101–104.

Oktaviani, A.S. (2024) 'Hubungan Hasil Tes VO<sub>2</sub>Max Menggunakan Williams Swimming Beep Test dan Multistage Fitness Test pada Atlet Renang Se-Kabupaten Sleman', 15(1), pp. 37–48.

P.O, I. and U.G, E. (2016) 'Maximum oxygen uptake and cardiovascular response of Professional male football and Basketball players to Chester step test.', *IOSR Journal of Sports and Physical Education*, 03(04), pp. 01–05. Available at: <https://doi.org/10.9790/6737-03040105>.

Pambuka Putra, K. *et al.* (2017) 'Korelasi Perubahan Nilai VO<sub>2</sub> Max, Eritrosit, Hemoglobin dan Hematokrit Setelah Latihan High Intensity Interval Training', 5(2), pp. 161–170.

Paradisis, G.P. *et al.* (2014) 'Multi-stage 20-m shuttle run fitness test, maximal oxygen uptake and velocity at maximal oxygen uptake', *Journal of Human Kinetics*, 41(1), pp. 81–87. Available at: <https://doi.org/10.2478/hukin-2014-0035>.

Poole, D.C. and Jones, A.M. (2017) 'Measurement of the maximum oxygen uptake Vo<sub>2</sub>max: Vo<sub>2</sub>peak is no longer acceptable', *Journal of Applied Physiology*, 122(4), pp. 997–1002. Available at: <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01063.2016>.

Rendhitya Prima Putra (2021) 'Analisis Kemampuan Vo<sub>2</sub>Max Atlet Selam Koni Kota Kediri', *Jurnal Kejaora (Kesehatan Jasmani dan Olah Raga)*, 6(1), pp. 203–206. Available at: <https://doi.org/10.36526/kejaora.v6i1.1300>.

Rohmah, N.M. and Hamdani (2022) 'Survei Kebugaran Jasmani Menggunakan Tingkat Vo<sub>2</sub>Max pada Peserta Ekstrakurikuler Pencak Silat SMKN 1 Kediri Pasca Pandemi', *Jurnal Pendidikan Olahraga dan Kesehatan*, 10(1), pp. 239–245.

Saberi, A.A., Fathi, M. and Hejazi, K. (2020) 'Comparing the Effect of Eight Weeks of Resistance and Endurance Trainings on Physiological and Functional Factors and Record of Elite Runners', *Journal of Sport Biomechanics*, 6(1), pp. 32–43. Available at: <https://doi.org/10.32598/biomechanics.6.1.5>.

Safitri, I. *et al.* (2020) 'Hubungan Kadar Hemoglobin Dengan Kelelahan Otot Pada

Atlet Sepak Bola Remaja’, *Journal of Nutrition College*, 9(3), pp. 154–159. Available at: <https://doi.org/10.14710/jnc.v9i3.26925>.

Saugy, M., Lundby, C. and Robinson, N. (2014) ‘Monitoring of biological markers indicative of doping: The athlete biological passport’, *British Journal of Sports Medicine*, 48(10), pp. 827–832. Available at: <https://doi.org/10.1136/bjsports-2014-093512>.

Sherwood, L. (2015) ‘Sherwood Introduction to Human Physiology 8th edition’, *Sherwood Introduction to Human Physiology 8th edition*, pp. 5–24.

Sinaga, F.A. (2013) ‘Hubungan antara Kadar Haemoglobin dengan Tingkat VO2Max Atlet PPLM Provinsi Sumatera Utara’, pp. 89–99.

Tumiwa, H.T. *et al.* (2016) ‘Gambaran Kapasitas Vital Paru Dan Volume Oksigen Maksimum (Vo2Max) Pada Atlet Sepak Bola Ps.Bank Sulutgo Di Kota Manado Tahun 2016’, *PHARMACON Jurnal Ilmiah Farmasi-UNSRAT*, 5(2), pp. 251–258.

Who and Chan, M. (2011) ‘Haemoglobin concentrations for the diagnosis of anaemia and assessment of severity’, *Geneva, Switzerland: World Health Organization*, pp. 1–6. Available at: <https://doi.org/2011>.

Widodo, L.Y. and Hanani, E.S. (2021) ‘Profil VO2Max Peserta Ekstrakurikuler Olahraga Bola Basket di SMA Negeri 3 Kota Tegal’, *Indonesian Journal for Physical Education and Sport*, 2(2), pp. 650–661. Available at: <https://doi.org/10.15294/inapes.v2i2.48996>.

Wulandari, D.A., Kaidah, S. and Hudani (2022) ‘Literature Review : Hubungan Kadar Hemoglobin dengan Nilai VO2 Maks Pada Atlet’, 5, pp. 461–472.

Younesi, S. *et al.* (2021) ‘Relationships Between Aerobic Performance, Hemoglobin Levels, and Training Load During Small-Sided Games: A Study in Professional Soccer Players’, *Frontiers in Physiology*, 12(February). Available at: <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.649870>.