

INCREASED ENDURANCE OF ERYTHROCYTE CELL MEMBRANE AND ERYTHROCYTE CELL NUMBER DUE TO MODERATE INTENSITY AEROBIC EXERCISE

Moch. Yunus¹, Abi Fajar Fathoni^{2*}, Endang Sri Wahjuni³

¹Pendidikan Kepelatihan Olahraga, Fakultas Ilmu Keolahragaan, Universitas Negeri Malang, Jl. Semarang No. 5, Lowokwaru, Malang, Jawa Timur, Indonesia.

²Pendidikan Jasmani Kesehatan dan Rekreasi, Fakultas Ilmu Keolahragaan, Universitas Negeri Malang, Jl. Semarang No. 5, Lowokwaru, Malang, Jawa Timur, Indonesia.

³Pendidikan Jasmani Kesehatan dan Rekreasi, Fakultas Ilmu Olahraga, Universitas Negeri Surabaya, Jl. Lidah Wetan, Lakarsantri, Surabaya, Jawa Timur, Indonesia.

Corresponding Author: fajarfathoniabi@um.ac.id

Abstract

This study aims to examine and analyze the magnitude of the increase in the endurance of the erythrocyte membrane and the number of erythrocyte cells due to moderate-intensity aerobic exercise. This research is a quasi-experimental research with a quantitative approach, and uses pretest and posttest design. The population in this study were students majoring in PKO FIK UM, with a sampling technique using purposive sampling, and the number of samples was 20 people. The independent variable in this study was moderate intensity aerobic exercise. Exercises are carried out with a frequency of 3 times per week, for 8 weeks and the duration of the exercise is 30 minutes. The dependent variables are: 1) the durability of the erythrocyte cell membrane, and 2) the number of erythrocyte cells. The dependent variable data of pretest and posttest were collected by using the technique of examining venous blood which was carried out at the Bromo Diagnostic Clinic Malang. Data analysis used the paired sample t test technique using 0.05. The results of the analysis of research data showed that Osmotic Fragility as an indicator of the durability of the erythrocyte cell membrane. Pretest $0.46 \pm 0.02\%$ and posttest $0.43 \pm 0.02\%$, P -value $0.029 < (0.05)$ while the variable amount erythrocyte cells pretest 5.4580 ± 0.223 million/uL and posttest 5.6230 ± 0.142 million/uL, P -value $0.021 < (0.05)$. It can be concluded that there is a significant increase in the endurance of the erythrocyte cell membrane and the number of erythrocytes due to moderate-intensity aerobic exercise.

Keywords: *membrane endurance, erythrocyte cell count, exercise-moderate intensity*

PENINGKATAN DAYA TAHAN MEMBRAN SEL ERITROSIT DAN JUMLAH SEL ERITROSIT AKIBAT LATIHAN AEROBIK INTENSITAS SEDANG

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji dan menganalisa besarnya peningkatan daya tahan membran sel eritrosit dan jumlah sel eritrosit akibat latihan aerobik intensitas sedang. Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen semu dengan pendekatan kuantitatif, serta menggunakan rancangan *pretest and posttest design*. Populasi dalam penelitian ini adalah mahasiswa jurusan PKO FIK UM, dengan tehnik sampling menggunakan *purposive sampling*, serta jumlah sampel sebanyak 20 orang. Variabel bebas dalam penelitian ini yaitu latihan aerobik intensitas sedang. Latihan dilakukan dengan frekuensi 3 kali perminggu, selama 8 minggu dan durasi latihan 30 menit. Variabel terikat yaitu: 1) daya tahan membran sel eritrosit, dan 2) Jumlah sel eritrosit. Data variabel terikat *pretest* dan *posttest* dikumpulkan dengan teknik memeriksa darah vena yang dilaksanakan di laboratorium klinik Diagnostik Bromo Malang. Analisis data menggunakan teknik Uji t *paired sample t test* dengan menggunakan α 0,05. Hasil analisis data penelitian menunjukkan bahwa Fragiltas Osmotik sebagai indikator variabel daya tahan membran sel eritrosit *Pretest* $0,46 \pm 0,02\%$ dan *posttest* $0,43 \pm 0,02\%$, P -

value $0,029 < \alpha (0,05)$ sedangkan variabel jumlah sel eritrosit *pretest* $5,4580 \pm 0,223$ juta/uL dan *posttest* $5,6230 \pm 0,142$ juta/uL, P-value $0,021 < \alpha (0,05)$. Hal ini dapat disimpulkan bahwa terdapat peningkatan yang signifikan daya tahan membran sel eritrosit dan jumlah sel eritrosit akibat Latihan aerobik intensitas sedang.

Kata kunci : daya tahan membran, jumlah sel eritrosit, latihan intensitas sedang.

PENDAHULUAN

Respon dan adaptasi latihan terhadap eritrosit telah menjadi topik hangat dalam studi kedokteran olahraga dalam beberapa dekade terakhir. Sebagian besar studi sebelumnya berpusat tentang '*sports anemia*' (Hu and Lin, 2012). Penelitian yang dilakukan untuk mengetahui adaptasi latihan terhadap sistem eritrosit hasilnya bervariasi. Hal ini dipengaruhi oleh banyak faktor, seperti perbedaan program latihan, jenis sel yang diukur, subyek penelitian dan metode pengukuran. Perbedaan dalam program latihan menyebabkan hasil yang berbeda-beda pula, hal ini terkait dengan intensitas dan durasi latihan serta lamanya program latihan (Lee et al., 2021).

Hasil penelitian Hu and Lin (2012), menyimpulkan latihan merangsang eritropoiesis dan meningkatkan kadar hemoglobin (Hb) dan massa sel merah, yang meningkatkan kapasitas transport oksigen. Hal berbeda didapatkan dari hasil penelitian yang dilakukan Rønnestad et al. (2021) menunjukkan hasil penurunan kadar hemoglobin setelah latihan aerobik selama delapan minggu pada 13 atlet wanita. Hal ini senada dengan hasil penelitian Putra et al. (2017) bahwa metode latihan *High Intensity Interval Training* dapat meningkatkan VO₂max namun tidak meningkatkan nilai hemoglobin, eritrosit dan hematocrit.

Fragilitas osmotik eritrosit adalah salah satu cara pemeriksaan untuk menggambarkan daya tahan membran sel eritrosit dalam mempertahankan kelangsungan hidup sel eritrosit (rusak). Adi and Fathoni (2020) menyimpulkan aktifitas fisik yang dilakukan 8 minggu belum cukup memberikan adaptasi tubuh terhadap fragilitas osmotik eritrosit. Hasil yang berbeda didapatkan dari hasil penelitian Chou et al. (2016), latihan intensitas sedang dapat memperbaiki agregasi, osmotik fragilitas dan menurunkan kerusakan sel eritrosit. Latihan aerobik intensitas sedang telah terbukti dapat meningkatkan fungsi tubuh. Yuniana (2020), menyimpulkan Latihan aerobik dapat menurunkan lemak tubuh sebesar 4,651 % dan meningkatkan kapasitas vital paru. Latihan aerobik dapat meningkatkan kemampuan kardiorespirasi sebagai efek tekanan udara terhadap fisiologi tubuh atlet, (Nasrulloh, 2009, 2014). Untuk mendapatkan hasil yang optimal akibat latihan aerobik harus memperhatikan: (1) intensitas latihan diharapkan mencapai training zone, (2) Takaran lama latihan, (3) Frekuensi latihan, dan (4) Lama program Latihan (Listyarini, 2015; Nasrulloh et al., 2021, 2022).

Latihan aerobik juga bisa mengakibatkan terbentuknya radikal bebas, hal ini disebabkan latihan aerobik dapat meningkatkan konsumsi oksigen sampai 20 kali, bahkan dalam otot dapat mencapai 100 kali. Latihan aerobik mengakibatkan proses iskemia-perfusi, pada saat latihan aerobik juga terjadi hipoksia sementara di jaringan beberapa organ yang tidak aktif seperti ginjal, hati dan usus. Latihan aerobik dengan intensitas tinggi dengan denyut nadi 80-85% dari denyut nadi maksimal, serabut otot menjadi hipoksia, karena pada saat otot berkontraksi dengan kuat, memeras pembuluh darah intramuscular di bagian otot yang aktif, akibatnya terjadi penurunan aliran darah ke otot yang aktif. Setelah selesai latihan darah dengan cepat kembali ke berbagai organ yang kekurangan aliran darah tadi, sehingga terjadi reperfusi yang dapat menyebabkan sejumlah radikal bebas turut dalam sirkulasi (Kawamura and Muraoka, 2018). Produksi radikal bebas yang berlebihan dalam tubuh akan memicu kondisi yang disebut dengan stres oksidatif. Malondialdehyde (MDA) merupakan suatu produk akhir peroksidasi lemak yang digunakan sebagai biomarker biologis peroksidasi lemak serta dapat menggambarkan derajat stres oksidatif. Sedangkan enzim SOD merupakan

enzim antioksidan endogen utama yang mempunyai peranan penting secara langsung melindungi sel dari gangguan radikal bebas, dan secara tidak langsung memelihara keseimbangan oksigen yang bersifat toksik (Rahmawati et al., 2018). Eritrosit merupakan sel tubuh yang sangat vital fungsinya, eritrosit juga salah satu sel tubuh yang sangat rentan terhadap radikal bebas. Kruk et al. (2019) menyimpulkan respon aktivitas fisik dapat meningkatkan stress oksidatif dan adaptasi latihan fisik yang teratur dapat menurunkan stress oksidatif. Berdasar hal-hal tersebut diatas penelitian ini bertujuan untuk mengkaji dan menganalisis peningkatan daya tahan membran sel eritrosit dan jumlah sel eritrosit akibat Latihan aerobik intensitas sedang.

METODE

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen semu, dengan rancangan penelitian *randomized group pre-test and post-test design*. Variabel dalam penelitian ini terdiri atas variabel perlakuan yaitu latihan aerobik intensitas sedang (70-80% dari denyut nadi maksimal), dengan frekuensi 3x/minggu, selama 8 minggu, durasi latihan 30 menit. Variabel terikat terdiri dari daya tahan membran sel eritrosit, dengan indikator hasil pemeriksaan fragilitas osmotik eritrosit dan jumlah sel eritrosit. Pengambilan sampel darah vena dilakukan sebelum perlakuan dan setelah akhir perlakuan setelah 24 jam aktivitas fisik. Pengambilan sampel darah vena dan pemeriksaan dilakukan di laboratorium diagnostik Bromo Malang yang dilakukan oleh tenaga yang terampil dan terlatih. Prosedur pemeriksaan laboratorium fragilitas osmotik yaitu dengan menggunakan 12 buah tabung dengan berbagai tingkatan konsentrasi larutan NaCl. Prosedur berikutnya menambahkan 0,05 ml darah pada masing-masing tabung. Selanjutnya meletakkan tabung pada suhu ruangan selama 30 menit kemudian disentrifuge selama 5 menit pada 3000 rpm. Supernatant dipindahkan ke kuvet dan dibaca menggunakan spektrofotometer dengan panjang gelombang 540 nm. (Joyce, 2008), Sedangkan pemeriksaan jumlah sel eritrosit menggunakan hasil dari pemeriksaan darah lengkap dengan metode *Hematology Analyzer Sysmex XP 100*.

Populasi penelitian ini adalah Mahasiswa Jurusan PKO FIK UM, angkatan tahun 2019 yang berjumlah 98 orang. Sampel penelitian diambil dengan *purposive sampling*, dengan kriteria: (a) Jenis kelamin laki-laki, (b) Umur 18-20 tahun, (c) Indeks Massa Tubuh Normal, (d) Tidak merokok. Jumlah sampel penelitian adalah 20 mahasiswa laki-laki. Data dianalisis dengan Uji *t paired sample t test* dengan menggunakan α 0,05. Persyaratan analisis teknik Uji-t meliputi uji normalitas data (teknik Shapiro-Wilk tes).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Deskripsi data *pretest* dan *posttest* hasil penelitian Fragilitas Osmotik sebagai indikator daya tahan membran sel eritrosit dan jumlah sel eritrosit dipaparkan sebagai berikut:

Tabel 1. Hasil Analisis Deskripsi Data Mean dan SD Variabel Terikat

Variabel	Pre-test	Post-test
FO (%)	0,46±0,02	0,43±0,02
Eritrosit (juta/uL)	5,4580 ± 0,223	5,6230± 0,142

Pada Tabel 1 Tersebut diatas menunjukkan data rata-rata *posttest* (0,43±0,02%) pada variabel fragilitas osmotik eritrosit (FO) mengalami penurunan, hal ini menunjukkan terjadinya lisis pada sel eritrosit pada konsentrasi NaCl yang lebih rendah. Hal ini menggambarkan terjadinya peningkatan daya tahan membrane sel eritrosit. Jumlah sel eritrosit pada *posttest* 5,6230± 0,142 juta/uL, yang menunjukkan lebih besar dari jumlah sel eritrosit *pretest*. Hal ini menunjukkan terjadi peningkatan jumlah sel eritrosit.

Tabel 2. Hasil Analisis Uji Normalitas Variabel Terikat (Shapiro-Wilk Test)

Variabel		Sig	Status
FO	Pretest	0,765	Distribusi Normal
	Posttest	0,813	Distribusi Normal
Eritrosit	Pretest	0,097	Distribusi Normal
	Posttest	0,059	Distribusi Normal

Berdasarkan Tabel 2 diatas menunjukkan nilai sig pada semua variabel baik *pretest* maupun *posttest* menunjukkan hasil $p > 0,05$. Hal ini berarti semua variabel berdistribusi normal.

Tabel 3. Hasil Analisis Uji Beda Variabel Terikat

Variabel	Sig	Keterangan
Pair FO Pre-Post	0,029	Signifikan
Pair Eritrosit Pre-Post	0,021	Signifikan

Berdasarkan Tabel 3 diperoleh hasil semua komponen variabel terikat antara *pretest* dan *posttest* berbeda signifikan ($p < 0,05$). Hal ini berarti akibat latihan aerobik intensitas sedang ada perbedaan yang signifikan antara rata-rata *pretest* dan *posttest* pada semua komponen variable terikat.

Tabel 4: Hasil Analisis Efektifitas Latihan Aerobik Intensitas Sedang

Variabel	Delta (posttest- pretest)	Ket
FO (%)	-0,03±0,03	↓ 6,52%
Eritrosit (juta/uL)	0,1650± 0,057	↑ 3,02%

Penelitian ini merupakan salah satu jenis penelitian eksperimen semu dengan menggunakan rancangan *pre-test and post-test design*. Pengambilan sampel penelitian ini dengan *Purposive Randomized Sampling* dengan jumlah sampel sebanyak 20 orang. Kriteria sampel yang digunakan antara lain: berjenis kelamin laki-laki, umur antara 18-20 tahun, ber indeks massa tubuh normal dan tidak merokok. Hal ini diharapkan dengan semakin banyak variabel yang dikendalikan maka perubahan variabel terikat lebih banyak karena faktor variabel bebasnya. Variabel bebas dalam penelitian ini yaitu latihan aerobik intensitas sedang, dengan frekuensi 3 kali perminggu, selama 8 minggu, dan durasi latihan 30 menit. Diharapkan dengan perlakuan tersebut akan terjadi adaptasi akibat latihan. Variabel terikat dalam penelitian ini yaitu: 1) fragilitas osmotik eritrosit sebagai indikator daya tahan membran sel eritrosit, dan 2) jumlah sel eritrosit. Variabel terikat diukur melalui pengambilan sampel darah vena. Sedangkan pengambilan sampel darah vena dilakukan sebelum dan sesudah program latihan, diambil sampel darah vena 24 jam setelah aktifitas fisik. Hal ini sesuai dengan yang dilakukan Evans and Omaye (2017) dalam laporan penelitiannya juga terungkap untuk pemeriksaan sampel darah dilakukan 24 jam setelah aktifitas fisik.

Latihan olahraga merupakan modulator fungsi biologis yang dapat berdampak luas baik dampak positif (meningkatkan, memperbaiki), maupun dampak negatif (menghambat, merusak). Latihan olahraga merupakan bagian yang penting dalam kehidupan, karena latihan olahraga dapat mempertahankan dan meningkatkan derajat kesehatan tubuh, serta akan dapat mengakibatkan peningkatan kinerja fisik tubuh dan dapat juga mencegah terjadinya penuaan dini. Latihan olahraga secara teratur merupakan rangsangan kepada semua sistem tubuh sehingga tubuh akan dapat mempertahankan tubuh tetap dalam keadaan sehat. Latihan olahraga juga bertujuan untuk pendidikan, rekreasi, juga untuk mencapai suatu prestasi dalam suatu kejuaraan (Rajšp & Fister, 2020). Latihan aerobik akan mengakibatkan peningkatan

metabolisme tubuh terutama pada otot-otot skeletal, peningkatan metabolisme ini bertujuan meningkatkan produksi energi (ATP) untuk memenuhi kebutuhan energi untuk aktivitas tersebut. Peningkatan metabolisme ini diikuti peningkatan kebutuhan O₂, untuk memenuhi kebutuhan O₂ dan pengeluaran CO₂ serta panas diperlukan kerja terpadu berbagai mekanisme kardiovaskular dan pernafasan. Perubahan sirkulasi akan meningkatkan aliran darah ke otot, sementara sirkulasi yang adekuat ke jaringan lain harus dipertahankan (Lepe et al., 2021).

Latihan harus dilakukan dengan memperhatikan dosis latihan dengan prinsip FIT atau frekuensi, intensitas, dan tempo supaya memperoleh hasil maksimal (Kusmana, 2006:19). Frekuensi merupakan jumlah latihan dalam satu minggu latihan dilakukan agar dapat memberi efek latihan. Frekuensi latihan yang ideal adalah 3-5 kali seminggu. Latihan kurang dari 3 kali seminggu tidak menunjukkan adaptasi latihan, sedangkan latihan lebih dari 5 kali seminggu tidak memberikan kesempatan bagi tubuh untuk *recovery*. Intensitas merupakan berat beban latihan yang diberikan. Latihan aerobik dilakukan dengan intensitas ringan sampai sedang. Olahraga sudah cukup meningkatkan kemampuan jantung bila diberi beban antara 60-80% atau dengan aturan denyut jantung antara 70-85% dari denyut jantung maksimal (Kusmana, 2006). *Tim* merupakan durasi latihan. Penelitian menunjukkan lama latihan antara 20-30 menit sudah cukup memberikan kenaikan kemampuan sebanyak 35% bila dilakukan 3 kali seminggu dalam jangka waktu satu setengah bulan.

Latihan aerobik yang dilakukan menggunakan prinsip-prinsip latihan yang benar akan memberikan pengaruh dan adaptasi biologis yang baik terhadap tubuh. Apabila suatu latihan dilakukan sesuai dengan prinsip dasarnya akan meningkatkan kualitas fisik. Perubahan-perubahan yang terjadi terhadap tubuh, antara lain yaitu perubahan kimia, peningkatan volume sekuncup, peningkatan volume semenit, peningkatan volume darah dan haemoglobin, pengaruh pada tingkat seluler, meningkatkan jumlah dan diameter mitokondria, meningkatkan berbagai aktifitas enzim yang diperlukan untuk siklus kreb dan *transfer elektron* (Warburton and Bredin, 2017). Latihan dapat dilakukan dengan durasi dan intensitas yang berbeda-beda. Durasi latihan adalah lamanya latihan berlangsung dalam satu sesi latihan, yang dinyatakan dalam satuan waktu. Sedangkan, intensitas latihan pada prinsipnya merupakan berat ringannya latihan atau beban kerja latihan. Intensitas latihan dapat dinyatakan secara absolut dan relatif. Secara absolut, intensitas latihan dapat dinilai dari pengeluaran energi yang digunakan per satuan waktu dengan satuan kcal atau joule per menit. Sedangkan secara relatif, intensitas latihan dapat dinilai antara lain dengan menghitung denyut nadi latihan berapa persentase dari denyut jantung maksimum (%HR) atau menghitung penggunaan oksigen, berapa persentase dari konsumsi oksigen maksimum (VO₂ maks) dengan satuan ml/kg/menit (Mc Ardle, 2010: 226). Secara fisiologis, latihan memberikan stres fisik pada tubuh yang dapat menghasilkan respons adaptasi. Latihan fisik yang dianjurkan adalah sepanjang tubuh mampu beradaptasi terhadap beban yang berlebih terhadap tubuh (prinsip *overload*). Berlatih pada intensitas yang cukup tinggi dapat menginduksi adaptasi spesifik yang memungkinkan tubuh berfungsi dengan lebih efisien (Mc. Ardle, 2010).

Fungsi utama sel eritrosit adalah transport O₂ ke sel dan jaringan serta mengembalikan CO₂ dari sel dan jaringan ke paru. Eritrosit bersifat lentur dan bikonkaf, hal ini berguna untuk melewati kapiler atau mikrosirkulasi yang Ø 3,5µ, serta menjaga hemoglobin dalam keadaan tereduksi, juga untuk mempertahankan keseimbangan osmotik walaupun terdapat konsentrasi protein yang tinggi dalam sel (Shouval et al., 2021). Kondisi oksigen sel dan jaringan merupakan dasar pembentukan eritrosit. Kemampuan fungsional sel untuk mentransport oksigen ke sel dan jaringan dalam hubungannya dengan kebutuhan oksigen jaringan mengatur kecepatan pembentukan eritrosit. Setiap keadaan yang menyebabkan jumlah oksigen yang ditranspor ke jaringan berkurang akan meningkatkan kecepatan produksi eritrosit.

Aktivitas fisik yang terus menerus tersebut akan menimbulkan keadaan hipoksia pada tubuh, pada level seluler keadaan hipoksia ini akan memicu faktor transkripsi HIF-1 (hypoxia induced factor-1) yang berperan dalam adaptasi jaringan terhadap keadaan rendah oksigen, HIF-1 pada jaringan di ginjal dan hati akan memicu teranskripsi gen eritropoietin sehingga akan dihasilkan eritropoietin yang akan dilepas ke peredaran darah (Kibble, 2021). Teori ini juga didukung oleh penelitian yang memaparkan individu yang hidup di dataran rendah dengan kondisi rendah oksigen pada dataran tinggi, kondisi hipoksia yang terus menerus ini didapati meningkatkan kadar hemoglobin secara signifikan (Calbet, 2002)

Adaptasi latihan olahraga juga diketahui dapat meningkatkan produksi antioksidan, seperti *Catalase* (CAT), *Superoxide Dismutase* (SOD), dan *Gluthathion Sulfur Hidroksil* (GSH) (Elbassuoni and Abdel Hafez, 2019; Guerreiro et al., 2016). Pertahanan antioksidan sangat diperlukan bagi sebuah sel, karena sel akan terus menerus membentuk radikal bebas oksigen reactive oxygen species (ROS) selama proses respirasi maupun kondisi inflamasi (Ore and Akinloye, 2019). Produksi radikal bebas yang berlebihan dalam tubuh akan memicu kondisi yang disebut dengan stres oksidatif. *Malondialdehyde* (MDA) merupakan suatu produk akhir peroksidasi lemak yang digunakan sebagai biomarker biologis peroksidasi lemak serta dapat menggambarkan derajat stres oksidatif. Sedangkan enzim SOD merupakan enzim antioksidan endogen utama yang mempunyai peranan penting secara langsung melindungi sel dari gangguan radikal bebas, dan secara tidak langsung memelihara keseimbangan oksigen yang bersifat toksik (Costa et al., 2021).

Eritrosit merupakan sel tubuh yang sangat vital fungsinya, eritrosit juga salah satu sel tubuh yang sangat rentan terhadap radikal bebas. Oksidan yang terbentuk di dalam eritrosit adalah superoksida (O_2^-), Hidrogen peroksida (H_2O_2), radikal peroksil (ROOD.). Sumber radikal bebas akibat latihan dapat berasal dari 1) peningkatan proses auto oksidasi Haemoglobin (Hb) menjadi methemoglobin, 2) meningkatnya sistem transpor elektron di mitokondria, 3) penumpukan asam laktat, 4) meningkatnya xantin oksidase (XO), dan 5) meningkatnya produksi catecholamine (Wang et al., 2021).

Diskusi daya tahan membrane sel eritrosit

Proses hematopoiesis terjadi dalam sumsum tulang. Retikulosit, yang merupakan bentuk prematur dari eritrosit, akan mengalami maturasi dan membentuk eritrosit yang berdiameter 8 μm , berbentuk diskus bikonkaf dengan usia sel 120 hari (Pasini et al., 2006). Eritrosit merupakan suatu komponen utama darah setelah leukosit, trombosit dan plasma (Liu et al., 2020). Membran eritrosit bersifat permeable terhadap molekul air (H_2O). Hal ini oleh sebab adanya transport protein AQP1 (Shao et al., 2018). Eritrosit yang dimasukkan dalam larutan hipertonis akan mengalami pengerutan sel karena lebih banyak air yang keluar sel daripada yang masuk. Demikian sebaliknya, apabila eritrosit berada dalam lingkungan yang hipotonis, maka osmosis akan terjadi dari luar ke dalam sel yang akan menyebabkan sel akan menggebung. Apabila membran plasma tidak dapat menahan tekanan tinggi intrasel tersebut oleh sebab tercapainya critical volume, maka sel akan pecah dan hemoglobin akan dilepaskan (Pornprasert et al., 2018).

Tes fragilitas osmotik eritrosit menilai kejadian lisis eritrosit akibat adanya osmotik stress. Tingkat fragilitas osmotik eritrosit dipengaruhi oleh perbandingan luas permukaan sel terhadap volume sel. Peningkatan fragilitas osmotik dapat juga dipengaruhi radikal bebas. Radikal bebas juga menjadi salah satu penyebab terjadinya kerusakan eritrosit. Versteeg et al. (2020), mengatakan radikal bebas memiliki peran terhadap fragilitas osmotik eritrosit. Selama aktifitas fisik terjadi trauma mekanik terhadap eritrosit yang disebabkan oleh kontraksi otot selama aktifitas fisik, disamping itu selama aktifitas fisik terjadi peningkatan suhu tubuh, kekurangan cairan tubuh, hemokonsentrasi dan stres oksidasi yang menjadi penyebab terjadinya himolisis eritrosit selama latihan maupun pada masa pemulihan berlangsung

(Elejalde et al., 2021). Beban aktifitas fisik yang dilakukan secara teratur memberikan adaptasi tubuh terhadap kemampuan produksi anti radikal bebas dan kemampuan menangkal radikal bebas yang ditimbulkan oleh aktifitas fisik (Kruk et al., 2021).

Hasil penelitian Lin et al. (2021), latihan interval bersepeda, 5 hari/minggu, waktu 30 menit, intensitas rata-rata 60% VO₂Max, selama 5 minggu dapat memperbaiki agregasi, osmotik fragilitas dan menurunkan kerusakan sel eritrosit. Hashida et al. (2021), juga meneliti tentang latihan kontinu intensitas sedang (*moderate cotinuous traning / MCT*). Setelah latihan 5 kali/ minggu, selama 5 minggu didapatkan hasil peningkatan VO₂Max dan penurunan fragilitas osmotik eritrosit yang berarti terjadi kenaikan daya tahan membran eritrosit. Hasil penelitian yang dilakukan Noor et al. (2021), menunjukkan hasil latihan aerobik intensitas sedang meningkatkan daya tahan osmotik eritorsit. Tsukiyama et al. (2017) latihan lari intensitas sedang pada tikus wistar, tiap hari, 30 menit, selama 4 minggu mengakibatkan penurunan kerusakan sel otot dan peningkatan daya tahan osmotik eritrosit. Alfian et al., (2021) menyimpulkan aktifitas aerobik memiliki potensi terhadap fragilitas osmotik eritrosit. Maka untuk mencegah aktifitas fisik harus menggunakan dosis tepat dan memperhatikan aspek gizi khususnya yang mengandung zat anti radikal bebas, seperti mengandung vitamin C, serta vitamin E.

Penelitian menunjukkan hasil pengaruh latihan aerobik intensitas sedang terhadap fragilitas osmotik (FO) sebagai penanda daya tahan membran eritrosit, hasil pengujian antara pretest dan posttest fragilitas osmotik didapatkan perbedaan yang signifikan ($p < 0,05$). Hal ini menunjukkan terdapat perbedaan yang signifikan antara hasil rata-rata *pretest* dan hasil pada *posttest* variabel fragilitas osmotik eritrosit. Hal ini dapat disimpulkan terdapat pengaruh yang signifikan latihan aerobik intensitas sedang terhadap kenaikan daya tahan membran sel eritrosit. Pada penelitian ini rata-rata posttest fragilitas osmotik eritrosit mengalami penurunan, hal ini berarti bahwa pada uji fragilitas osmotik eritrosit dengan penurunan konsentrasi cairan (hipotonis) masih mampu untuk tidak pecah. Karena pada Tes fragilitas osmotik menilai kejadian lisis eritrosit akibat adanya osmotik stress. Hal ini berarti apabila eritrosit berada dalam lingkungan yang hipotonis, maka osmosis akan terjadi dari luar ke dalam sel yang akan menyebabkan sel akan mengembang. Apabila membran plasma tidak dapat menahan tekanan tinggi intrasel tersebut oleh sebab tercapainya critical volume, maka sel akan pecah. Dalam penelitian ini berdasarkan Tabel 4. Fragilitas osmotik eritrosit terjadi penurunan sebesar 6,52%, Hal ini berarti latihan aerobik intensitas sedang efektif dalam meningkatkan daya tahan membran eritrosit sebesar 6,52%.

Diskusi Hasil Jumlah Sel eritrosit

Adaptasi fisiologis akibat latihan dibutuhkan intensitas latihan yang cukup merangsang nilai ambang rangsang aerobik. Latihan aerobik mengakibatkan peningkatan metabolisme tubuh terutama pada sistem muskuloskeletal. Peningkatan metabolisme ini berguna untuk meningkatkan produksi ATP, sehingga kebutuhan energi untuk aktivitas dapat terpenuhi. Metabolisme yang meningkat ini tentu akan diikuti peningkatan kebutuhan O₂, untuk memenuhi kebutuhan O₂ dan pengeluaran CO₂ serta panas diperlukan kerja terpadu berbagai mekanisme kardiovaskular dan pernafasan. Perubahan system kardiorespirasi selama latihan aerobik akan meningkatkan aliran darah ke otot, sementara sirkulasi yang adekuat ke jaringan lain harus tetap dipertahankan (Versteeg et al., 2020).

Latihan aerobik yang dilakukan terus menerus dengan intensitas sedang akan menimbulkan keadaan hipoksia pada tubuh. Kondisi hipoksia pada level seluler merupakan faktor pemicu transkripsi *hypoxia induced factor-1* (HIF-1) yang berperan dalam respon sel dan jaringan terhadap kondisi oksigen yang rendah. HIF-1 pada ginjal dan hati akan memicu teranskripsi gen eritropoietin sehingga akan dihasilkan hormon eritropoietin yang akan dilepas ke peredaran darah (Kluwer, 2019). Teori kondisi hipoksia ini juga didukung oleh

penelitian yang memaparkan individu yang hidup di dataran tinggi dengan konsentrasi oksigen yang rendah. Kondisi hipoksia yang terjadi secara terus menerus ini dapat meningkatkan kadar hemoglobin secara signifikan (Calbet, 2002: 715-28). Hormon Eritropoietin suatu hormon yang ada pada sistem sirkulasi akan melewati sumsum tulang hematopoetik (*red marrow*) dan berikatan pada reseptornya di sistem sel, ikatan ini akan memicu maturasi stem sel tersebut menjadi sel prekursor eritroid yang akan mengalami proses maturasi melalui serangkaian reaksi dengan sitokin-sitokin seperti *stem cell factor*, *interleukin-3*, *interleukin-11*, *granulocyte-macrophage colony stimulating factor* dan *thrombopoietin* (Greer et al., 2018).

Peningkatan produksi dan jumlah sel eritrosit akibat latihan aerobik akan meningkatkan kadar hemoglobin dalam darah, peningkatan kadar hemoglobin ini akan meningkatkan kapasitas oksigen maksimal walaupun parameter hematologi lainnya tidak banyak berubah. Pada penelitian ini telah terbukti dengan latihan aerobik intensitas sedang dapat mengakibatkan kenaikan jumlah sel eritrosit yang signifikan. Hal ini disebabkan pada saat melakukan latihan tubuh kita mengalami kondisi hipoksia. Kondisi hipoksia merupakan faktor utama tubuh kita membentuk hormon eritropoietin. Hormon eritropoietin akan memicu sumsum tulang untuk memproduksi sel eritrosit lebih banyak.

Hasil dari penelitian ini dapat ditunjukkan pada Tabel 3. Dari uji t *pretest* dan *posttest* jumlah eritrosit didapatkan p 0,021 ($p < 0,05$). Hal ini menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antara *pretest* dan *posttest* pada variabel jumlah sel eritrosit. Sehingga dapat disimpulkan bahwa latihan aerobik intensitas sedang, frekuensi 3x /minggu, dan lama latihan selama 8 minggu dapat meningkatkan secara signifikan jumlah sel eritrosit. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Hu and Lin (2012), latihan merangsang eritropoiesis dan peningkatan kadar Hb dan massa sel merah, yang meningkatkan transport oksigen. Mekanisme yang mendasari terutama di sumsum tulang, termasuk merangsang erythropoiesis dengan hiperplasia dari sumsum tulang hematopoietik, peningkatan lingkungan mikro hematopoietik yang diinduksi oleh latihan, dan hormon eritropoietin dan sitokin mempercepat eritropoiesis. Ammar et al. (2020), menyatakan latihan aerobik dan anerobik berpengaruh terhadap peningkatan jumlah sel eritrosit. Demikian juga hasil penelitian Dalmazzo et al. (2019), menyimpulkan terdapat pengaruh yang signifikan latihan interval terhadap kenaikan jumlah sel eritrosit, dan kenaikan VO₂max. Hasil yang berbeda didapatkan dari hasil penelitian Putra (2017), bahwa metode latihan *high intensity interval training* dapat meningkatkan VO₂max namun tidak meningkatkan nilai hemoglobin, eritrosit dan hematokrit.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis data dan pembahasan dapat disimpulkan hasil penelitian ini adalah terdapat peningkatan yang signifikan pada daya tahan membran sel eritrosit dan jumlah sel eritrosit sebagai akibat dari latihan aerobik intensitas sedang.

DAFTAR PUSTAKA

- Adi, S., & Fathoni, A. F. (2020). Blended learning analysis for sports schools in Indonesia. *International Journal of Interactive Mobile Technologies*, 14(12), 149–164.
<https://doi.org/10.3991/IJIM.V14I12.15595>
- Alfan, R., Sugiharto, S., & Andiana, O. (2021). Pengaruh Olahraga Intensitas High dan Intensitas Moderate Dengan Musik terhadap TNF- α . *Sport Science and Health*, 3(8), 642–655.
<https://doi.org/10.17977/um062v3i82021p642-655>
- Ammar, A., Trabelsi, K., Boukhris, O., Glenn, J. M., Bott, N., Masmoudi, L., Hakim, A., Chtourou, H., Driss, T., Hoekelmann, A., & Abed, K. El. (2020). Effects of aerobic-, anaerobic- and combined-based exercises on plasma oxidative stress biomarkers in healthy untrained young adults.

International Journal of Environmental Research and Public Health, 17(7), 1–12.

<https://doi.org/10.3390/ijerph17072601>

- Chou, S. L., Huang, Y. C., Fu, T. C., Hsu, C. C., & Wang, J. S. (2016). Cycling exercise training alleviates hypoxia-impaired erythrocyte rheology. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 48(1), 57–65. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000730>
- Costa, M., Sezgin-Bayindir, Z., Losada-Barreiro, S., Paiva-Martins, F., Saso, L., & Bravo-Díaz, C. (2021). Polyphenols as antioxidants for extending food shelf-life and in the prevention of health diseases: Encapsulation and interfacial phenomena. In *Biomedicines* (Vol. 9, Issue 12, pp. 1–38). <https://doi.org/10.3390/biomedicines9121909>
- Dalmazzo, V., Ponce, Á., Delgado-Floody, P., Carrasco-Alarcón, V., & Martínez-Salazar, C. (2019). Effects of interval exercise in the improvement of glycemic control of obese adults with insulin resistance. *Nutricion Hospitalaria*, 36(3), 578–582. <https://doi.org/10.20960/nh.2075>
- Elbassuoni, E. A., & Abdel Hafez, S. M. (2019). Impact of chronic exercise on counteracting chronic stress-induced functional and morphological pancreatic changes in male albino rats. *Cell Stress and Chaperones*, 24(3), 567–580. <https://doi.org/10.1007/s12192-019-00988-y>
- Elejalde, E., Villarán, M. C., & Alonso, R. M. (2021). Grape polyphenols supplementation for exercise-induced oxidative stress. In *Journal of the International Society of Sports Nutrition* (Vol. 18, Issue 1, pp. 1–12). <https://doi.org/10.1186/s12970-020-00395-0>
- Evans, L. W., & Omaye, S. T. (2017). Use of saliva biomarkers to monitor efficacy of vitamin C in exercise-induced oxidative stress. In *Antioxidants* (Vol. 6, Issue 1, pp. 1–21). <https://doi.org/10.3390/antiox6010005>
- Greer, J. P., Arber, D. A., Glader, B. E., List, A. F., Means, R. T., Rodgers, G. M., Appelbaum, F. R., Dispenzieri, A., & Fehniger, T. A. (2018). Wintrobe's clinical hematology: Fourteenth edition. In *Wintrobe's Clinical Hematology: Fourteenth Edition*.
- Guerreiro, L. F., Rocha, A. M., Martins, C. N., Ribeiro, J. P., Wally, C., Strieder, D. L., Carissimi, C. G., Oliveira, M. G., Pereira, A. A., Biondi, H. S., Monserrat, J. M., & Gonçalves, C. A. N. (2016). Oxidative status of the myocardium in response to different intensities of physical training. *Physiological Research*, 65(5), 737-749. <https://doi.org/10.33549/physiolres.933185>
- Hashida, R., Takano, Y., Matsuse, H., Kudo, M., Bekki, M., Omoto, M., Nago, T., Kawaguchi, T., Torimura, T., & Shiba, N. (2021). Electrical Stimulation of the Antagonist Muscle During Cycling Exercise Interval Training Improves Oxygen Uptake and Muscle Strength. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 35(1), 111–117. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002393>
- Hu, M., & Lin, W. (2012). Effects of exercise training on red blood cell production: Implications for anemia. In *Acta Haematologica* (Vol. 127, Issue 3, pp. 156–164). <https://doi.org/10.1159/000335620>
- Kawamura, T., & Muraoka, I. (2018). Exercise-induced oxidative stress and the effects of antioxidant intake from a physiological viewpoint. In *Antioxidants* (Vol. 7, Issue 9, pp. 1–19). <https://doi.org/10.3390/antiox7090119>
- Kibble, J. D. (2021). Using the physiology of normal aging as a capstone integration exercise in a medical physiology course. *Advances in Physiology Education*, 45(2), 365–368. <https://doi.org/10.1152/ADVAN.00020.2021>
- Kluwer, W. (2019). Wintrobe's Clinical Hematology. 14th ed. *Greer J, Editor. Philadelphia, PA:*
- Kruk, J., Aboul-Enein, B. H., & Duchnik, E. (2021). Exercise-induced oxidative stress and melatonin supplementation: current evidence. In *Journal of Physiological Sciences* (Vol. 71, Issue 1, pp. 1–19). <https://doi.org/10.1186/s12576-021-00812-2>
- Kruk, J., Aboul-Enein, H. Y., Kładna, A., & Bowser, J. E. (2019). Oxidative stress in biological systems and its relation with pathophysiological functions: the effect of physical activity on cellular redox homeostasis. *Free Radical Research*, 53(5), 497–521.

<https://doi.org/10.1080/10715762.2019.1612059>

- Lee, H. S., Kim, J. H., Oh, H. J., & Kim, J. H. (2021). Effects of interval exercise training on serum biochemistry and bone mineral density in dogs. *Animals*, *11*(9), 1–13. <https://doi.org/10.3390/ani11092528>
- lefever Joyce. (2008). Pedoman Pemeriksaan Laboratorium Dan Diagnostik. *Buku Kedokteran EGC*, *47*(1).
- Lepe, J. J., Alexeeva, A., Breuer, J. A., & Greenberg, M. L. (2021). Transforming University of California, Irvine medical physiology instruction into the pandemic era. *FASEB BioAdvances*, *3*(3), 136–142. <https://doi.org/10.1096/fba.2020-00082>
- Lin, M. L., Fu, T. C., Hsu, C. C., Huang, S. C., Lin, Y. T., & Wang, J. S. (2021). Cycling Exercise Training Enhances Platelet Mitochondrial Bioenergetics in Patients with Peripheral Arterial Disease: A Randomized Controlled Trial. *Thrombosis and Haemostasis*, *121*(7), 900–912. <https://doi.org/10.1055/s-0040-1722191>
- Listyarini, A. E. (2015). Latihan Senam Aerobik Untuk Meningkatkan Kebugaran Jasmani. *Medikora*, *VIII*(2). <https://doi.org/10.21831/medikora.v0i2.4654>
- Liu, H., Hussain, S. A., Ali, D., Omar, S. Y. Al, Shaik, U., Alghamdi, H. A. H., & Maddu, N. (2020). Induced alteration of rat erythrocyte membrane with effect of pyrethroid based compounds. *Saudi Journal of Biological Sciences*, *27*(12), 3669–3675. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.08.011>
- Nasrulloh, A. (2009). Pengaruh Latihan Aerobik Kombinasi Dengan Teknik terhadap Kemampuan Kardiorespirasi Efek Tekanan Udara terhadap Fisiologi Tubuh Atlet. *MEDIKORA*, *0*(1). <https://journal.uny.ac.id/index.php/medikora/article/view/4694>
- Nasrulloh, A. (2014). Program Physical Fitness dapat Meningkatkan Kesehatan Paru (VO2 max). *KEMAS: Jurnal Kesehatan Masyarakat*, *10*(1), 1–6. <https://doi.org/10.15294/kemas.v10i1.3063>
- Nasrulloh, A., Apriyanto, K. D., Yuniana, R., Dev, R. D. O., & Yudhistira, D. (2022). Developing Self Body Weight Training Methods to Improve Physical Fitness in the COVID-19 Era: Aiken Validity. *Journal of Hunan University Natural Sciences*, *49*(6), 129–139. <https://doi.org/10.55463/ISSN.1674-2974.49.6.14>
- Nasrulloh, A., Sumaryanto, S., Prasetyo, Y., Sulistiyono, S., & Yuniana, R. (2021). Comparison of Physical Condition Profiles of Elite and Non-Elite Youth Football Players. *MEDIKORA*, *20*(1), 73–83. <https://doi.org/10.21831/MEDIKORA.V20I1.39547>
- Noor, Z., Agustiningih, D., Soesatyo, M. H. N. E., & Soejono, S. K. (2021). The effect of swimming exercise on thyroid function, spatial memory and anxiety in normal and propylthiouracil-induced hypothyroidism in wistar rats. *Physiology and Pharmacology (Iran)*, *25*(3), 231–241. <https://doi.org/10.52547/PPJ.25.3.231>
- Nurhadi, F. I., Suherman, W. S., Prasetyo, Y., & Nasrulloh, A. (2022). Pengaruh latihan beban kombinasi dengan latihan aerobik terhadap berat badan dan persentase lemak tubuh pada remaja overweight The effect of weight training combined with aerobic exercise on body weight and body fat percentage in overweight adolescents. *18*(2), 8–17.
- Ore, A., & Akinloye, O. A. (2019). Oxidative stress and antioxidant biomarkers in clinical and experimental models of non-alcoholic fatty liver disease. In *Medicina (Lithuania)* (Vol. 55, Issue 2, pp. 1–13). <https://doi.org/10.3390/medicina55020026>
- Pasini, E. M., Kirkegaard, M., Mortensen, P., Lutz, H. U., Thomas, A. W., & Mann, M. (2006). In-depth analysis of the membrane and cytosolic proteome of red blood cells. *Blood*, *108*(3), 791–801. <https://doi.org/10.1182/blood-2005-11-007799>
- Pornprasert, S., Tookjai, M., Punyamung, M., Pongpunyayuen, P., & Treesuwan, K. (2018). Proficiency testing program for hemoglobin E, A2 and F analysis in Thailand using lyophilized hemoglobin control materials. *Clinical Chemistry and Laboratory Medicine*, *56*(4), 1–15. <https://doi.org/10.1515/cclm-2017-0581>

- Putra, K. P., Al Ardha, M. A., Kinasih, A., & Aji, R. S. (2017). Korelasi perubahan nilai VO₂max, eritrosit, hemoglobin dan hematokrit setelah latihan high intensity interval training. *Jurnal Keolahragaan*, 5(2), 1–19. <https://doi.org/10.21831/jk.v5i2.14875>
- Rahmawati, A. N., Astirin, O. P., & Pangastuti, A. (2018). Intracellular antioxidant activity of *Muntingia calabura* leaves methanolic extract. *Nusantara Bioscience*, 10(4), 210–214. <https://doi.org/10.13057/nusbiosci/n100402>
- Rajšp, A., & Fister, I. (2020). A systematic literature review of intelligent data analysis methods for smart sport training. In *Applied Sciences (Switzerland)* (Vol. 10, Issue 9, pp. 1–31). <https://doi.org/10.3390/app10093013>
- Rønnestad, B. R., Hamarsland, H., Hansen, J., Holen, E., Montero, D., Whist, J. E., & Lundby, C. (2021). Five weeks of heat training increases haemoglobin mass in elite cyclists. *Experimental Physiology*, 106(1), 316–327. <https://doi.org/10.1113/EP088544>
- Shao, J., Abdelghani, M., Shen, G., Cao, S., Williams, D. S., & Van Hest, J. C. M. (2018). Erythrocyte Membrane Modified Janus Polymeric Motors for Thrombus Therapy. *ACS Nano*, 12(5), 4877–4885. <https://doi.org/10.1021/acsnano.8b01772>
- Shouval, R., Fein, J. A., Savani, B., Mohty, M., & Nagler, A. (2021). Machine learning and artificial intelligence in haematology. In *British Journal of Haematology* (Vol. 192, Issue 2, pp. 239–250). <https://doi.org/10.1111/bjh.16915>
- Tsukiyama, Y., Ito, T., Nagaoka, K., Eguchi, E., & Ogino, K. (2017). Effects of exercise training on nitric oxide, blood pressure and antioxidant enzymes. *Journal of Clinical Biochemistry and Nutrition*, 60(3), 180–186. <https://doi.org/10.3164/jcbrn.16-108>
- Versteeg, M., Van Loon, M. H., Wijnen-Meijer, M., & Steendijk, P. (2020). Refuting misconceptions in medical physiology. *BMC Medical Education*, 20(1), 1–9. <https://doi.org/10.1186/s12909-020-02166-6>
- Wang, W., Wu, X., Yang, C. S., & Zhang, J. (2021). An unrecognized fundamental relationship between neurotransmitters: Glutamate protects against catecholamine oxidation. *Antioxidants*, 10(10), 1–14. <https://doi.org/10.3390/antiox10101564>
- Warburton, D. E. R., & Bredin, S. S. D. (2017). Health benefits of physical activity: A systematic review of current systematic reviews. In *Current Opinion in Cardiology* (Vol. 32, Issue 5, pp. 541–556). <https://doi.org/10.1097/HCO.0000000000000437>
- Yuniana, R. (2020). Effect of aerobic and load exercises on body fat and lung vital capacity. *Medikora*, 19(2), 82–97. <https://doi.org/10.21831/medikora.v19i2.34740>