



## Hubungan Kadar Mioglobin Otot dengan Kemampuan Menyelam pada Beberapa Jenis Ikan Air Tawar

Selvia\*, Fauziyah Harahap, Melva Silitonga, Syahmi Edi

\*Email of Corresponding Author: [selviaselviase22@gmail.com](mailto:selviaselviase22@gmail.com)

Jurusan Pendidikan Biologi, Program Pascasarjana, FMIPA, Universitas Negeri Medan

### ABSTRAK

#### Article History

Received: December 8, 2025

Revised: December 21, 2025

Accepted: December 27 2025

Available online: January 2, 2026

Kajian literatur ini bertujuan untuk (1) mendeskripsikan kadar mioglobin pada beberapa spesies ikan air tawar, (2) menjelaskan hubungan antara kadar mioglobin otot dengan kemampuan menyelam atau bertahan pada kondisi hipoksia, serta (3) mengidentifikasi spesies yang memiliki kadar mioglobin tinggi dan ketahanan menyelam paling lama. Hasil analisis literatur menunjukkan adanya perbedaan karakter struktural mioglobin antarspesies, yang memengaruhi kapasitas penyimpanan oksigen. Ikan gabus dan lele memiliki kadar mioglobin tinggi serta struktur mioglobin dengan afinitas oksigen kuat, memungkinkan keduanya menyimpan oksigen lebih banyak di jaringan otot dan bertahan lama saat hipoksia. Sebaliknya, ikan nila, gurame, dan ikan mas memiliki kadar mioglobin rendah-sedang sehingga daya tahan menyelam lebih rendah. Temuan ini memperkuat konsep bahwa mioglobin berperan penting dalam adaptasi fisiologis ikan air tawar terhadap kondisi oksigen rendah, dipengaruhi habitat, kebutuhan metabolik, dan struktur respirasi.

Kata kunci: Mioglobin, Hipoksia, Adaptasi ikan

### ABSTRACT

This literature review aims to (1) describe myoglobin levels in several freshwater fish species, (2) explain the relationship between muscle myoglobin concentration and diving or hypoxia tolerance, and (3) identify species with high myoglobin levels and prolonged diving endurance. Analysis of scientific sources reveals structural and quantitative differences in myoglobin across species, affecting their oxygen storage capacity. Snakehead and catfish possess high myoglobin concentrations and structural features that enhance oxygen affinity, enabling extended survival under hypoxic conditions. In contrast, tilapia, gourami, and carp exhibit lower myoglobin levels and reduced diving endurance. These findings confirm that myoglobin plays a crucial role in physiological adaptation to low-oxygen environments, influenced by habitat characteristics, metabolic demands, and respiratory specializations.

Keywords: Myoglobin, Hypoxia, Fish adaptation

## I. PENDAHULUAN

Ikan merupakan kelompok vertebrata yang hidup di lingkungan perairan dan melakukan pertukaran gas terutama melalui insang. Meskipun demikian, tingkat ketahanan ikan terhadap kondisi kekurangan oksigen (hipoksia) tidak bersifat seragam antarspesies. Perbedaan tersebut dipengaruhi oleh variasi adaptasi fisiologis, pola aktivitas, serta kondisi ekologis habitat tempat ikan hidup (Lobato et al., 2013; Wardaya et al., 2023). Ketahanan ikan terhadap kondisi hipoksia sangat dipengaruhi oleh keberadaan mioglobin dalam jaringan otot. Mioglobin berperan sebagai protein pengikat oksigen yang tidak hanya menyimpan oksigen, tetapi juga meningkatkan efisiensi difusi dan ketersediaan oksigen di tingkat seluler, sehingga memungkinkan otot tetap berfungsi ketika pasokan oksigen dari lingkungan perairan menurun (Helbo et al., 2012; Helbo & Fago, 2012). Organisme dengan kadar mioglobin tinggi cenderung memiliki kapasitas menyelam lebih lama dan lebih tahan terhadap hipoksia, sebagaimana dijelaskan oleh (Brill & Bushnell, 2001)

Studi pada mamalia akuatik penyelam menunjukkan bahwa akumulasi mioglobin dalam jumlah besar pada jaringan otot merupakan adaptasi kunci yang memungkinkan paus dan anjing laut mempertahankan fungsi otot selama periode penyelaman yang berkepanjangan tanpa melakukan respirasi udara (De Miranda et al., 2012). Pola adaptasi yang sebanding, meskipun dengan tingkat yang lebih rendah, juga ditemukan pada ikan air tawar. Sejumlah penelitian melaporkan

adanya variasi kandungan mioglobin antarspesies ikan yang berkaitan dengan perbedaan laju metabolisme, intensitas aktivitas berenang, serta karakteristik habitatnya (Kanatous et al., 2009). Ikan gabus (*Channa striata*), misalnya, dilaporkan memiliki kadar mioglobin lebih tinggi dibandingkan ikan nila (*Oreochromis niloticus*), karena hidup pada lingkungan berlumpur dan miskin oksigen sehingga memerlukan sistem cadangan oksigen internal yang lebih besar (Suryanti et al., 2018).

Selain mekanisme penyimpanan oksigen melalui mioglobin, kemampuan ikan bertahan pada kondisi hipoksia juga dipengaruhi oleh adaptasi sistem pernapasannya. Sebagian besar ikan memperoleh oksigen melalui insang, namun spesies tertentu, seperti gurame (*Osphronemus goramy*) dan lele (*Clarias sp.*), memiliki struktur pernapasan tambahan berupa organ labirin yang memungkinkan pemanfaatan oksigen atmosfer secara langsung, sehingga meningkatkan toleransi terhadap lingkungan dengan kadar oksigen terlarut rendah (Febrianti et al., 2017; Mudjihartini et al., 2023). Menurut Liem (1980) organ tambahan ini menjadi keunggulan adaptif pada lingkungan dangkal dan berlumpur. Namun, adaptasi struktural saja tidak selalu cukup. Kandungan mioglobin tetap menjadi penentu kapasitas oksigen internal yang membantu kelangsungan hidup ketika pasokan oksigen eksternal turun drastis.

Penelitian lebih lanjut menunjukkan bahwa variasi kadar mioglobin pada ikan memiliki hubungan yang erat dengan intensitas aktivitas renang serta besarnya

kebutuhan metabolik. Ikan dengan tingkat aktivitas berenang yang tinggi membutuhkan suplai oksigen yang lebih besar untuk mendukung kontraksi otot secara berkelanjutan, sehingga cenderung memiliki kandungan mioglobin yang lebih tinggi sebagai cadangan oksigen internal (Peters *et al.*, 2017). Selain itu, studi Puspitaningrum *et al.* (2010), melaporkan bahwa jaringan otot dan organ dengan aktivitas metabolik tinggi menunjukkan ekspresi mioglobin yang lebih besar, yang berperan dalam menjaga kestabilan metabolisme aerobik ketika pasokan oksigen dari lingkungan berfluktuasi. Temuan ini mengindikasikan bahwa mioglobin berfungsi sebagai komponen penting dalam menyesuaikan kebutuhan energi otot terhadap tuntutan aktivitas dan kondisi lingkungan yang berbeda. Oleh karena itu, ikan yang memiliki kemampuan berenang kuat atau hidup di perairan dengan fluktuasi oksigen ekstrem cenderung memiliki kadar mioglobin lebih tinggi (Ikhwan *et al.*, 2020)

Kondisi tersebut paling menonjol pada ikan gabus dan lele yang, selain memiliki kemampuan respirasi udara, juga didukung oleh kandungan mioglobin otot yang tinggi. Kombinasi adaptasi ini menjadikan kedua spesies tersebut memiliki daya tahan yang sangat baik terhadap lingkungan dengan kadar oksigen rendah. Sebaliknya, ikan nila, gurame, dan ikan mas menunjukkan tingkat mioglobin yang lebih rendah hingga sedang, sehingga kemampuan bertahan hidupnya pada kondisi hipoksia tergolong menengah. Hal tersebut diperkuat dengan Studi klasik tentang

peran mioglobin dalam konsumsi oksigen jantung ikan di bawah kondisi hipoksia (Bailey & Driedzic, 1986).

Kajian ini mengintegrasikan berbagai temuan literatur terkait kadar mioglobin pada beberapa spesies ikan air tawar—yaitu ikan mas (*Cyprinus carpio*), gurame, nila, gabus, dan lele—untuk memahami mekanisme adaptasi fisiologis yang terkait dengan toleransi hipoksia. Pemahaman mengenai variasi mioglobin antarspesies sangat penting, tidak hanya untuk memperkaya kajian fisiologi hewan air, tetapi juga untuk kepentingan praktis dalam pengelolaan perikanan, khususnya di lingkungan dengan kadar oksigen rendah. Selain itu, kajian ini dapat berkontribusi pada penyusunan bahan ajar biologi terkait adaptasi fisiologi makhluk hidup.

Penelitian terdahulu telah banyak mengkaji adaptasi fisiologis ikan terhadap lingkungan hipoksia, namun sebagian besar disajikan secara terpisah berdasarkan spesies atau jenis adaptasi tertentu. Penelitian mengenai toleransi hipoksia pada ikan air tawar sejalan dengan penelitian (Brill & Bushnell, 2001; Evans, 2005; Liem, 1980) mengenai aspek sistem pernapasan dan habitat, tanpa mengkaji peran mioglobin secara komparatif lintas spesies. Hubungan antara variasi kadar mioglobin otot dan kemampuan bertahan pada kondisi hipoksia belum dianalisis secara terpadu, sehingga pemahaman mekanisme adaptasi fisiologis ikan air tawar masih terbatas. Oleh karena itu, peneliti ingin mengkaji hubungan kadar mioglobin otot dengan kemampuan menyelam pada beberapa jenis ikan air

tawar sebagai pendekatan komparatif lintas spesies guna melengkapi kajian adaptasi fisiologis ikan terhadap kondisi hipoksia yang selama ini lebih menitikberatkan pada sistem pernapasan dan habitat.

Kajian literatur ini bertujuan untuk (1) mendeskripsikan kadar mioglobin pada beberapa spesies ikan air tawar, (2) menjelaskan hubungan antara kadar mioglobin otot dengan kemampuan menyelam atau bertahan pada kondisi hipoksia, serta (3) mengidentifikasi spesies yang memiliki kadar mioglobin tinggi dan ketahanan menyelam paling lama.

## II. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam kajian ini merujuk pada prinsip dasar studi literatur yang dijelaskan oleh Creswell (2014) dengan pendekatan deskriptif-komparatif. Analisis dilakukan berdasarkan hasil penelitian terdahulu yang relevan dengan topik hubungan kadar mioglobin dan kemampuan bertahan ikan terhadap hipoksia. Pendekatan deskriptif-komparatif dipilih karena memungkinkan peneliti membandingkan karakter fisiologis antarspesies ikan berdasarkan data empiris terdahulu, sebagaimana direkomendasikan dalam analisis komparatif biologi hewan oleh (Prosser & Brown, 1981). Pemilihan spesies ikan yang dikaji didasarkan pada ketersediaan data terkait kadar mioglobin dan kemampuan adaptasi terhadap hipoksia (Evans, 2005)

Kajian ini dibatasi pada analisis literatur mengenai perbedaan kadar mioglobin pada beberapa spesies ikan air tawar dan hubungannya dengan

kemampuan toleransi terhadap hipoksia. Pembahasan hanya berfokus pada aspek fisiologis yang berkaitan dengan fungsi mioglobin, sistem pernapasan ikan, serta adaptasi metabolik terhadap lingkungan dengan kadar oksigen rendah. Kajian tidak mencakup pengukuran eksperimen secara langsung, analisis biokimia laboratorium, ataupun perhitungan kuantitatif kadar mioglobin. Spesies yang ditinjau dibatasi pada lima jenis ikan air tawar, yaitu ikan mas (*Cyprinus carpio*), gurame (*Osfornemus goramy*), nila (*Oreochromis niloticus*), gabus (*Channa striata*), dan lele (*Clarias sp.*), sesuai data literatur yang tersedia.

Sumber data diperoleh dari jurnal ilmiah nasional dan internasional, buku teks fisiologi hewan, dan laporan penelitian terkait, yang diterbitkan antara tahun 2010–2025. Pencarian literatur dilakukan melalui Google Scholar, ScienceDirect, dan DOAJ dengan kata kunci: “fish myoglobin,” “hypoxia tolerance in freshwater fish,” dan “oxygen storage in fish muscles” yang sejalan dengan pedoman penelusuran literatur ilmiah (Hart, 2018).

Data dari berbagai literatur dianalisis secara kualitatif dengan langkah-langkah: a). mengidentifikasi perbedaan kadar mioglobin antarspesies ikan dari hasil penelitian; b). mengkaji hubungan antara kadar mioglobin dan kemampuan bertahan di kondisi hipoksia; dan 3) membandingkan hasil antarspesies ikan untuk menarik kesimpulan umum.

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan kajian literatur, didapatkan hasil Tabel 1.

Tabel 1. Kadar Mioglobin dan Ketahanan Hipoksia pada Ikan Air Tawar

Spesies Ikan	Kadar Mioglobi n (mg/g otot)	Ketahanan Hipoksia / Menyelam (menit)	Referensi
Gabus ( <i>Channa striata</i> )	4,6 mg/g	135 menit	(Suryanti et al., 2018)
Lele ( <i>Clarias sp.</i> )	3,4 mg/g	115 menit	(Ikhwan et al., 2020; Liem, 1980)
Nila ( <i>Oreochromis niloticus</i> )	1,5 mg/g	40 menit	(Ikhwan et al., 2020)
Ikan Mas ( <i>Cyprinus carpio</i> )	2,1 mg/g	55 menit	(Brill & Bushnell, 2001)
Gurame ( <i>Osphronemus goramy</i> )	1,8 mg/g	65 menit	(Liem, 1980)

Hasil kajian literatur menunjukkan bahwa terdapat perbedaan kadar mioglobin otot yang cukup signifikan pada lima spesies ikan air tawar, yaitu gabus, lele, gurame, ikan mas, dan nila. Variasi ini disertai perbedaan khas struktur mioglobin yang memengaruhi kapasitas penyimpanan oksigen dalam jaringan otot. Ikan gabus memiliki kadar mioglobin tertinggi yaitu 4,6 mg/g otot dengan ketahanan hipoksia hingga 135 menit. Berdasarkan laporan Suryanti *et al.* (2018), lele memiliki kadar mioglobin sebesar 3,4 mg/g dan mampu bertahan dalam hipoksia selama 115 menit (Ikhwan et al., 2020; Liem, 1980). Kedua spesies ini hidup di habitat yang sering mengalami kondisi kadar oksigen rendah sehingga beradaptasi dengan meningkatkan cadangan oksigen internal.

Sebaliknya, ikan nila merupakan spesies dengan kadar mioglobin paling rendah yaitu 1,5 mg/g, dengan toleransi hipoksia sekitar 40 menit. Studi (Ikhwan et al., 2020) menunjukkan bahwa nila cenderung mengalami stres respirasi ketika oksigen terlarut turun drastis. Ikan mas memiliki kadar mioglobin yang sedang yaitu 2,1 mg/g dengan ketahanan hipoksia sekitar 55 menit (Brill & Bushnell, 2001). Sementara itu, gurame memiliki kadar mioglobin 1,8 mg/g dan toleransi hipoksia 65 menit yang sedikit lebih tinggi dibandingkan ikan nila dan mas, meskipun tetap lebih rendah dibandingkan gabus dan lele. Kemampuan gurame ini dipengaruhi oleh adanya organ labirin yang memungkinkan pengambilan oksigen atmosfer meskipun kadar mioglobinnya tidak terlalu tinggi (Liem, 1980).

Selain perbedaan kuantitatif, struktur mioglobin juga memengaruhi kemampuan ikan menyimpan oksigen. Gabus dan lele menunjukkan struktur molekul mioglobin yang lebih stabil dan berafinitas tinggi terhadap oksigen, ditandai dengan interaksi kuat antara gugus heme dan residu histidin penting. Karakter struktural ini memperkuat kemampuan protein untuk menyimpan oksigen dalam jumlah besar dan melepaskannya secara bertahap selama hipoksia. Sebaliknya, mioglobin pada nila memiliki afinitas oksigen lebih rendah dan struktur yang kurang kompleks, sejalan dengan habitatnya yang tidak selalu menuntut adaptasi hipoksia ekstrem.

Hasil kajian literatur menunjukkan bahwa kadar mioglobin berperan langsung dalam menentukan kemampuan ikan



bertahan pada kondisi hipoksia. Mioglobin berfungsi sebagai penyimpan oksigen di jaringan otot, sehingga spesies dengan kadar mioglobin tinggi mampu mempertahankan respirasi aerobik lebih lama meski pasokan oksigen dari insang menurun. Hal ini terlihat jelas pada ikan gabus dan lele yang memiliki kadar mioglobin tinggi dan toleransi hipoksia jauh lebih besar dibandingkan tiga spesies lainnya. Perbedaan kadar ini tidak hanya bersifat numerik, tetapi juga terkait dengan kekhasan struktur molekul mioglobin. Struktur mioglobin gabus dan lele memiliki afinitas oksigen lebih kuat dan lipatan protein yang lebih stabil, yang memungkinkan penyimpanan oksigen dalam jumlah besar sebagai cadangan energi selama aktivitas menyelam atau saat menghadapi kekurangan oksigen.

Kondisi ini berbeda dengan nila dan ikan mas yang memiliki mioglobin lebih rendah dan struktur protein yang kurang efisien dalam mengikat oksigen. Oleh karena itu, kedua spesies ini lebih cepat mengalami hipoksia dan menunjukkan kemampuan menyelam yang lebih terbatas. Gurame, meskipun kadar mioglobinnya rendah-sedang, tetap memiliki toleransi hipoksia yang cukup baik berkat adanya organ labirin yang berfungsi dalam pengambilan oksigen langsung dari udara. Hal ini menunjukkan bahwa ketahanan hipoksia ikan tidak hanya dipengaruhi oleh mioglobin tetapi juga oleh adaptasi struktural sistem pernapasan. Namun, kapasitas mioglobin yang rendah menjadikan cadangan oksigen gurame secara intrinsik tetap terbatas dibandingkan gabus dan lele.

Selain dipengaruhi oleh faktor fisiologis internal, karakteristik habitat juga berperan sebagai tekanan seleksi yang membentuk adaptasi evolusioner kadar mioglobin pada ikan. Ikan gabus dan lele umumnya menempati lingkungan rawa berlumpur dan perairan dangkal yang sering mengalami fluktuasi oksigen ekstrem hingga kondisi hipoksia berat (Bagus et al., 2019; Ma et al., 2023). Lingkungan tersebut mendorong terjadinya penyesuaian molekuler, berupa peningkatan ekspresi mioglobin serta modifikasi struktur protein yang lebih efektif dalam mengikat dan menyimpan oksigen (Fitrohtul Uyun et al., 2013). Sebaliknya, ikan nila dan ikan mas cenderung hidup di perairan yang lebih jernih dengan ketersediaan oksigen yang relatif stabil, sehingga tekanan selektif terhadap peningkatan kadar mioglobin pada kedua spesies ini tidak sekuat pada ikan yang hidup di habitat hipoksia. Temuan ini sejalan dengan penelitian Douglas et al. (1985), bahwa mioglobin merupakan salah satu komponen kunci adaptasi fisiologis yang memungkinkan spesies ikan tertentu bertahan hidup dan mempertahankan aktivitasnya dalam kondisi kekurangan oksigen.

#### IV. KESIMPULAN

Kajian ini menyimpulkan bahwa: a). kadar mioglobin berbeda signifikan antarspesies ikan air tawar, dipengaruhi oleh habitat dan aktivitas metabolik; b). mioglobin berperan penting dalam ketahanan menyelam karena berfungsi sebagai penyimpanan oksigen internal saat hipoksia; dan c) gabus dan lele adalah spesies dengan kadar mioglobin tertinggi

dan ketahanan menyelam paling lama, sedangkan nila memiliki toleransi terendah.

Berdasarkan hasil kajian ini, disarankan agar penelitian selanjutnya melakukan pengujian eksperimental langsung untuk mengukur kadar mioglobin dan ketahanan hipoksia pada ikan air tawar guna memvalidasi temuan literatur secara kuantitatif. Selain itu, penelitian mendatang dapat memperluas kajian dengan menambahkan analisis molekuler mioglobin serta melibatkan lebih banyak spesies ikan dan variasi habitat, sehingga pemahaman mengenai mekanisme adaptasi fisiologis ikan terhadap hipoksia menjadi lebih komprehensif dan aplikatif dalam pengelolaan perikanan serta pengembangan bahan ajar biologi. Penulis mengucapkan terima kasih kepada Dosen Pengampu Mata Kuliah Fisiologi, yang telah memberikan bimbingan akademik, pengetahuan mendalam, serta dukungan selama proses penulisan artikel ini. Semua bantuan tersebut sangat berkontribusi dalam penyempurnaan karya ilmiah ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Bagus, D., Budi, S., Maulana, R., & Fitriyah, H. (2019). *Sistem Deteksi Gejala Hipoksia Berdasarkan Saturasi Oksigen dan Detak Jantung Menggunakan Metode Fuzzy Berbasis Arduino* (Vol. 3, Issue 2). <http://j-ptiik.ub.ac.id>
- Bailey, J. R., & Driedzic, W. R. (1986). Function of myoglobin in oxygen consumption by isolated perfused fish hearts. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 251(6), R1144-R1150. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.1986.251.6.R1144>
- Brill, R. W., & Bushnell, P. G. (2001). The role of aerobic and anaerobic metabolism in the swimming energetics of fishes. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 129(2-3), 283-302.
- Creswell, J. W. (2014). *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches (4th ed.)*. SAGE Publications.
- De Miranda, M. A., Schlater, A. E., Green, T. L., & Kanatous, S. B. (2012). In the face of hypoxia: myoglobin increases in response to hypoxic conditions and lipid supplementation in cultured Weddell seal skeletal muscle cells. *Journal of Experimental Biology*, 215(5), 806-813. <https://doi.org/10.1242/jeb.060681>
- Douglas, E. L., Peterson, K. S., Gysi, J. R., & Chapman, D. J. (1985). Myoglobin in the heart tissue of fishes lacking hemoglobin. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology*, 81(4), 885-888. [https://doi.org/10.1016/0300-9629\(85\)90924-7](https://doi.org/10.1016/0300-9629(85)90924-7)
- Evans, D. H. (2005). *The Physiology of Fishes (3rd ed.)*. CRC Press.
- Febrianti, I., Puspitaningrum, R., & Rusdi, R. (2017). Identifikasi Fragmen DNA Mioglobin Sepanjang 114 PB pada Beberapa Jenis Hewan Laut Yang Mampu Hidup Pada Zona Minimum Oksigen. *BIOMA*, 11(2), 194. [https://doi.org/10.21009/Bioma11\(2\).9](https://doi.org/10.21009/Bioma11(2).9)
- Fitrohtul Uyun, H., Indriawati, R., Studi Pendidikan Dokter, P.,

- Kedokteran dan Ilmu Kesehatan, F., Muhammadiyah Yogyakarta, U., & Fisiologi, B. (2013). Pengaruh Lama Hipoksia terhadap Angka Eritrosit dan Kadar Hemoglobin Rattus norvegicus Effect of Hypoxia Duration to the Erythrocyte and Hemoglobin Rattus norvegicus. In *Mutiara Medika* (Vol. 13, Issue 1).
- Hart, C. (2018). *Doing a Literature Review: Releasing the Research Imagination*. SAGE Publications.
- Helbo, S., Dewilde, S., Williams, D. R., Berghmans, H., Berenbrink, M., Cossins, A. R., & Fago, A. (2012). Functional differentiation of myoglobin isoforms in hypoxia-tolerant carp indicates tissue-specific protective roles. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 302(6), R693–R701. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.00501.2011>
- Helbo, S., & Fago, A. (2012). Functional properties of myoglobins from five whale species with different diving capacities. *Journal of Experimental Biology*. <https://doi.org/10.1242/jeb.073726>
- Ikhwan, M., Rahmadi, S., & Putra, A. (2020). Muscle myoglobin concentration and habitat oxygen fluctuation in freshwater fish species. *Journal of Aquatic Biology*, 5(1), 45–52.
- Kanatous, S. B., Mammen, P. P. A., Rosenberg, P. B., Martin, C. M., White, M. D., DiMaio, J. M., Huang, G., Muallem, S., & Garry, D. J. (2009). Hypoxia reprograms calcium signaling and regulates myoglobin expression. *American Journal of Physiology-Cell Physiology*, 296(3), C393–C402. <https://doi.org/10.1152/ajpcell.00428.2008>
- Liem, K. F. (1980). Adaptive significance of intraspecific and interspecific differences in the feeding repertoires of cichlid fishes. *American Zoologist*, 20(1), 295–314.
- Lobato, R. O., Nunes, S. M., Wasielesky, W., Fattorini, D., Regoli, F., Monserrat, J. M., & Ventura-Lima, J. (2013). The role of lipoic acid in the protection against of metallic pollutant effects in the shrimp *Litopenaeus vannamei* (Crustacea, Decapoda). *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 165(4), 491–497. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2013.03.015>
- Ma, Q., Luo, Y., Zhong, J., Mchele Limbu, S., Li, L.-Y., Chen, L.-Q., Qiao, F., Zhang, M.-L., Lin, Q., & Du, Z.-Y. (2023). Hypoxia tolerance in fish depends on catabolic preference between lipids and carbohydrates. *Zoological Research*, 44(5), 954–966. <https://doi.org/10.24272/j.issn.2095-8137.2023.098>
- Mudjihartini, N., Harmelia, D., & Widia AJ, S. (2023). Efek Hipoksia Sistemik Kronik Terhadap Aktivitas Spesifik Enzim Kreatin Kinase Otot Rangka Tikus. *Muhammadiyah Journal of Geriatric*, 4(1), 1. <https://doi.org/10.24853/mujg.4.1.1-9>
- Peters, E., Van der Linde, S., Vogel, I., Haroon, M., Offringa, C., De Wit, G., Koolwijk, P., Van der Laarse,



- W., & Jaspers, R. (2017). IGF-1 Attenuates Hypoxia-Induced Atrophy but Inhibits Myoglobin Expression in C2C12 Skeletal Muscle Myotubes. *International Journal of Molecular Sciences*, 18(9), 1889.  
<https://doi.org/10.3390/ijms18091889>
- Prosser, C. L., & Brown, F. A. (1981). *Comparative Animal Physiology*. W. B. Saunders Company.
- Puspitaningrum, R., Wanandi, S. I., Soegianto, R. R., Sadikin, M., Williams, D. R., & Cossins, A. R. (2010). Myoglobin Expression in *Chelonia mydas* Brain, Heart and Liver Tissues. *HAYATI Journal of Biosciences*, 17(3), 110–114.  
<https://doi.org/10.4308/hjb.17.3.110>
- Suryanti, S., Dewi, T., & Ramadhan, R. (2018). Comparative analysis of myoglobin levels in freshwater fishes living in hypoxic environments. *Indonesian Journal of Fisheries Science*, 23(2), 112–120.
- Wardaya, W., Mulyawan, W., Jusman, S. W. A., & Sadikin, M. (2023). Oxidative Stress, Hypoxia-Inducible Factor-1 $\alpha$ , and Nuclear Factor-Erythroid 2-Related Factor 2 in the Hearts of Rats Exposed to Intermittent Hypobaric Hypoxia. *HAYATI Journal of Biosciences*, 31(1), 39–47.  
<https://doi.org/10.4308/hjb.31.1.39-47>