

EKSTRAK BUNGA ROSELLA:



Pustaka Aksara

Menurunkan Protein Karbonil
dan Meningkatkan Superoksida Dismutase
setelah Latihan Aerobik

Dr. Novadri Ayubi, S.Or., M.Kes.
Afif Rusdiawan, S.Pd., M.Kes.
Prof. Dr. Setiyo Hartoto, M.Kes.
Aulia Putri Srie Wardani, S.Gz., M.Sc



EKSTRAK BUNGA ROSELLA:

Menurunkan Protein Karbonil dan Meningkatkan Superoksida Dismutase setelah Latihan Aerobik

Dr. Novadri Ayubi, S.Or., M.Kes.

Afif Rusdiawan, S.Pd., M.Kes.

Prof. Dr. Setiyo Hartoto, M.Kes.

Aulia Putri Srie Wardani, S.Gz., M.Sc



Pustaka Aksara

EKSTRAK BUNGA ROSELLA:

**Menurunkan Protein Karbonil dan Meningkatkan
Superoksida Dismutase setelah Latihan Aerobik**

**Penulis : Dr. Novadri Ayubi, S.Or., M.Kes.
Afif Rusdiawan, S.Pd., M.Kes.
Prof. Dr. Setiyo Hartoto, M.Kes.
Aulia Putri Srie Wardani, S.Gz.,
M.Sc**

Desain Sampul : Sa'adatul Ulya

Tata Letak : Ayulis Mutiara Putri

ISBN : 978-623-161-560-2

Diterbitkan oleh : PUSTAKA AKSARA, 2025

Redaksi:

Surabaya, Jawa Timur, Indonesia

Telp. 0858-0746-8047

Laman : www.pustakaaksara.co.id

Surel : info@pustakaaksara.co.id

Anggota IKAPI : 277/JTI/2021

Cetakan Pertama : 2025

All right reserved

Hak Cipta dilindungi undang-undang

Dilarang memperbanyak atau memindahkan sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apapun dan dengan cara apapun, termasuk memfotokopi, merekam, atau dengan teknik perekaman lainnya tanpa seizin tertulis dari penerbit.

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji dan syukur ke hadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan buku ini dengan judul " EKSTRAK BUNGA ROSELLA: Menurunkan Protein Karbonil dan Meningkatkan Superoksida Dismutase setelah Latihan Aerobik". Shalawat yang selalu kita aturkan kepada Nabi besar kita Nabi Muhamad S.A.W yang telah membawa kita dari zaman kebodohan ke zaman yang penuh ilmu pengetahuan.

Penulis menyadari bahwa penulisan ini jauh dari kesempurnaan dan harapan. Hal tersebut disebabkan oleh keterbatasan kemampuan penulis sendiri. Untuk itu penulis sangat mengharapkan masukan-masukan atau saran yang sifatnya membangun dari semua pihak, guna kesempurnaan buku ini.

Dalam pelaksanaan penulisan buku ini penulis banyak mendapatkan bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak. Untuk itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak terkait yang telah memberikan bantuan dan bimbingan sampai selesainya makalah ini.

Surabaya, 2 September 2025

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI.....	iv
BAB I	
PENDAHULUAN	1
BAB II	
BUNGA ROSELLA DAN KESEHATAN	4
BAB III	
LATIHAN FISIK, AEROBIK, DAN KERUSAKAN OTOT..	6
BAB IV	
STRESS OKSIDATIF DAN PROTEIN CARBONYL.....	8
BAB V	
EKSTRAK BUNGA ROSELLA: PENURUN KADAR PROTEIN CARBONYL DAN SUPEROXIDE DISMUTASE SETELAH LATIHAN AEROBIK	10
BAB VI	
PENUTUP.....	13
DAFTAR PUSTAKA	14

BAB I

PENDAHULUAN

Akhir-akhir ini, sebagian besar orang telah menerapkan pola hidup sehat melalui olahraga yang teratur sehingga mencegah timbulnya berbagai penyakit (diabetes, kanker, alzheimer, kardiovaskular, dan demensia) serta meningkatkan kebugaran dan kesehatan jasmani. Olahraga teratur ini juga mampu mengurangi peroksidan, meningkatkan kapasitas antioksidan dan mengaktifkan enzim antioksidan, yang semuanya membantu dalam melindungi sel dari efek berbahaya stress oksidatif dan menghentikan kerusakan sel (Taherkhani, Suzuki and Castell, 2020; Daniela *et al.*, 2022; Amiri *et al.*, 2023). Namun, latihan olahraga intens dan tidak teratur justru membuat atlet mengalami stress oksidatif, peradangan, kerusakan dan cedera otot, serta kelelahan kronis, yang terkait dengan efek toksik radikal bebas. Secara teori yang memicu peningkatan stress oksidatif karena latihan aerobik. Meningkatnya stress oksidatif ditandai dengan meningkatnya kadar protein carbonyl didalam darah yang merupakan biomarker stress oksidatif. Sementara penurunan stress oksidatif dapat dilihat dari meningkatnya kadar antioksidan, seperti superoksida dismutase (SOD) (Souissi *et al.*, 2020). Stress oksidatif merupakan ketidakseimbangan antara antioksidan dan proses oksidan yang menyebabkan terjadinya kerusakan molekuler dan terganggunya sinyal dan control redoks. Produksi spesies oksigen reaktif (ROS) dan spesies nitrogen reaktif (RNS) yang berlebihan menyebabkan terganggunya keseimbangan redoks tersebut sehingga menimbulkan efek peradangan (Kruk *et al.*, 2022).

Permasalahan saat ini, dalam kebanyakan kasus peningkatan radikal bebas dapat menyebabkan penyakit degeneratif seperti kanker, diabetes mellitus dan aterosklerosis yang merupakan penyebab penyakit jantung (Maritim, Sanders and Watkins, 2003; Singh, Devi and Gollen, 2015). Diperkirakan sebanyak 17 juta orang di seluruh dunia meninggal setiap tahun akibat penyakit degeneratif. Beberapa negara di dunia, seperti Brazil, Kanada, China, India, Nigeria, Pakistan, Rusia, Inggris dan Tanzania memiliki angka kejadian kematian akibat penyakit degeneratif mencapai 80% (Powers, Radak and Ji, 2016).

Alternatif solusi lain perlu dicari untuk mengatasi masalah tersebut. Salah satu bahan alam yang mudah ditemukan yaitu bunga rosella. *Hibiscus sabdariffa* L. atau yang dikenal sebagai Rosella mengandung vitamin, mineral, dan komponen bioaktif, seperti polyphenols (anthocyanins, flavonoids, phenolic acids, tannins), polysaccharides, pectins, non-phenolic organic acids, carotenoids, asam caffeic, asam klorogenat, asam askorbat, dan quercetin, yang menjadikannya sebagai antioksidan kuat. Salah satu polifenol yang tergolong ke dalam flavonoid yang memiliki sifat antioksidan kuat adalah antosianin (Ratna *et al.*, 2018). Senyawa ini adalah pemulung radikal bebas yang kuat dengan menghambat glikasi dan pembersihan aktivitas melawan DPPH dan anion superoksida sehingga dapat meningkatkan aktivitas antioksidan atau mengurangi ROS untuk mendetoksifikasi kerusakan oksidatif. Rosela juga dapat diteliti lebih lanjut sebagai pengobatan farmakologis untuk mengurangi faktor risiko penyakit kardiovaskular karena telah terbukti memiliki sifat antihiperlipidemia, antihiperglikemik, antioksidan, antiinflamasi, antihipertensi, dan antifibrosis (Ratna *et al.*, 2018; Jamrozik, Borymska and

Kaczmarczyk-Żebrowska, 2022; Khongrum *et al.*, 2022; Sopian *et al.*, 2023).

Buku ini membahas dan menyoroti mengenai ekstrak bunga rosella dalam menurunkan kadar protein carbonyl dan kadar superoxide dismutase setelah Latihan Aerobik.

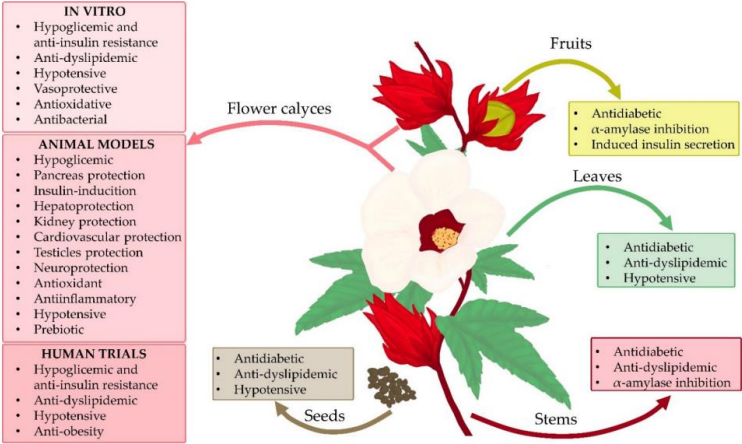
BAB II

BUNGA ROSELLA DAN KESEHATAN

Bunga rosella dengan nama latin "*Hibiscus sabdariffa* L." merupakan tanaman yang banyak ditemukan di negara tropis seperti Brazil, Filipina, Hawaii, Karibia, dan Australia, serta tempat-tempat seperti India, Malaysia, Thailand, Indonesia, dan Tiongkok. Rosella tergolong ke dalam family Malvaceae dan lebih dari 300 spesies rosella telah diidentifikasi. Adapun morfologi dari tanaman ini adalah memiliki tinggi maksimum 2,5 m, batangnya berwarna merah tua dan berbentuk silinder, daunnya berbentuk lobus dalam, bergantian 3-5 dengan panjang 8-15 cm, tepi daun mempunyai gigi. Bunganya berdiameter 8-12 cm ditemukan tunggal di terminal atau ketiak daun, berwarna putih hingga kuning pucat dengan bintik merah tua di dasar tiap kelopak, dan memiliki kelopak berdaging kokoh di pangkal, lebar 1-2 cm, membesar hingga 3- 3,5 cm, berdaging dan berwarna merah cerah saat buah matang (**Gambar 1**) (Riaz and Chopra, 2018; Jamrozik, Borymska and Kaczmarczyk-Żebrowska, 2022; Wang *et al.*, 2022; Sopian *et al.*, 2023).

Kelopak bunga rosella memiliki potensi dalam mengobati berbagai penyakit seperti penyakit kardiovaskular, diabetes, obesitas, batuk, hiperkolesterolemia, hipertensi, penyakit ginjal dan kulit, serta gangguan pencernaan. Kelopak bunga rosella dikenal karena potensi terapeutiknya yang kaya akan protein (5,5-9,14%), karbohidrat (7,4-12,3%), dan lemak (0,47-1,32%) (Singh *et al.*, 2021; Mohamed *et al.*, 2022). Selain kaya akan serat makanan, rosella diketahui mengandung berbagai senyawa bioaktif seperti polifenol (flavonoids, asam fenolik, antosianin, dan tannin), pectin, polisakarida, karotenoids,

dan non-phenolic organic acid, yang bertanggungjawab dalam berbagai fungsi biologis dan farmakologis seperti anti-hiperglikemik, anti-hiperlipidemia, anti-hipertensi, antioksidan, antiinflamasi, anti-fibrosis, antimikroba, antikarsinogenik, hepatoprotektif, dan antidiabetic, yang secara lengkap dapat dilihat pada Gambar 1 (Frank *et al.*, 2012; Jamrozik, Borymska and Kaczmarczyk-Żebrowska, 2022; Sopian *et al.*, 2023)



Gambar 1. Bunga Rosella

BAB III

LATIHAN FISIK, AEROBIK, DAN KERUSAKAN OTOT

A. Latihan Fisik

Latihan fisik merupakan pelaksanaan beberapa kegiatan untuk meningkatkan kebugaran jasmani dan kesehatan (Rebello-Marques *et al.*, 2018). Latihan fisik yang dilakukan dengan intensitas tinggi berkisar 80-90% dari kemampuan maksimal (Li *et al.*, 2020). Beberapa fisik yang dilakukan dengan intensitas tinggi akan mengarah ke type serabut otot fast twitch yang lebih dominan kepada anaerobic system [(Ciciliot *et al.*, 2013)]. Beberapa bentuk olahraganya seperti lari sprint, latihan beban, dan lompat tinggi (Ciciliot *et al.*, 2013).

B. Latihan Aerobik

Latihan aerobik merupakan aktivitas yang bergantung pada ketersediaan oksigen untuk membantu proses pembakaran sumber energi, sehingga bergantung pula terhadap kerja optimal dari organ-organ tubuh, seperti: jantung, paru-paru, dan pembuluh darah untuk mengangkut oksigen agar proses pembakaran sumber energi dapat berjalan dengan sempurna (Scott, 1998).

Metabolisme energi pada latihan aerobik berjalan melalui pembakaran simpanan lemak, karbohidrat, dan sebagian kecil (kurang dari lima persen) dari pemecahan simpanan protein yang terdapat dalam tubuh untuk menghasilkan adenosin trifosfat. Proses metabolisme sumber energi ketiga ini berjalan dengan hadirnya oksigen yang diperoleh melalui proses pernapasan (Scott, 1998).

C. Kerusakan Otot Akibat Latihan / *Exercise Induced Muscle Damage (EIMD)*

Exercise Induced Muscle Damage (EIMD) adalah fenomena sementara yang disebabkan oleh latihan yang tidak biasa dan merusak yang ditandai dengan kerusakan struktural pada serat miofiber dan inflamasi sekunder akibat infiltrasi leukosit ke dalam jaringan yang rusak (Markus *et al.*, 2021).

Secara umum, kerusakan otot dapat disebabkan oleh kontraksi otot statis (isometrik) dan dinamis (konsentrik dan eksentrik) (Hu *et al.*, 2020). Namun, ada bukti substansial bahwa tindakan otot eksentrik mengakibatkan kerusakan otot yang lebih besar dari tindakan isometrik atau konsentris (Assumpção *et al.*, 2013). EIMD akan memicu proses inflamasi yang ditandai dengan Nyeri otot yang tertunda atau *Delayed Onset Muscle Soreness (DOMS)*, pembengkakan lokal, penurunan *Range of Motion (ROM)* (Owens *et al.*, 2019; Viribay *et al.*, 2020; Romero-Parra *et al.*, 2021; Xin and Eshaghi, 2021).

BAB IV

STRESS OKSIDATIF DAN PROTEIN CARBONYL

A. Stress oksidatif

Stres oksidatif adalah fenomena yang disebabkan oleh ketidakseimbangan antara produksi dan akumulasi spesies reaktif oksigen (ROS) dalam sel dan jaringan dan kemampuan sistem biologis untuk mendetoksifikasi produk reaktif ini (Wang *et al.*, 2018). ROS dapat memainkan, dan pada kenyataannya mereka melakukannya, beberapa peran fisiologis seperti pensinyalan sel, mereka biasanya dihasilkan sebagai produk sampingan dari metabolisme oksigen. Meskipun demikian, stresor lingkungan (yaitu, UV, radiasi pengion, polutan, dan logam berat) dan xenobiotik (yaitu, obat antiblastik) berkontribusi sangat meningkatkan produksi ROS, sehingga menyebabkan ketidakseimbangan yang mengarah pada kerusakan sel dan jaringan (stres oksidatif) (Sies, 2015). Malondialdehyde (MDA) merupakan biomarker penanda stress oksidatif (Cherian *et al.*, 2019).

B. Protein Carbonyl

Protein Carbonyl adalah jenis oksidasi protein yang dapat didorong oleh spesies oksigen reaktif. Pembentukan protein karbonil biasanya merespons deaminasi oksidatif asam amino basa seperti lisin, arginin, dan prolin (Davies, 2016). Semialdehida α -aminoadipik (α -AS) adalah produk oksidasi spesifik dari lisin dan menyerap hingga 70% total karbonil protein dalam sel dan sistem pangan (Estévez, Díaz-Velasco and Martínez, 2022). Karena keberadaannya di mana-mana dalam protein teroksidasi serta deteksi dan

kuantifikasinya yang sederhana dengan metode dinitrofenilhidrazin rutin (DNPH), protein karbonil telah ditekankan sebagai penanda umum oksidasi protein dalam makanan, sel, dan jaringan (Estévez, Díaz-Velasco and Martínez, 2022). Sebuah kajian telah melaporkan bahwa protein carbonyl merupakan biomarker stress oksidatif (Dalle-Donne *et al.*, 2003).

BAB V

EKSTRAK BUNGA ROSELLA: PENURUN KADAR PROTEIN CARBONYL DAN SUPEROXIDE DISMUTASE SETELAH LATIHAN AEROBIK

Ekstrak bunga rosella menunjukkan aktivitas antiinflamasi yang kuat (penurunan interleukin (IL)-6, IL-1 β , dan IL-8) dan peningkatan aktivitas antioksidan (penurunan 8-isoprostane-F2 α dan peningkatan aktivitas paraoxonase serum) (Joven *et al.*, 2014). Selanjutnya, Temuan kajian sebelumnya menunjukkan bahwa suplementasi ekstrak bunga rosella dapat mengurangi ekspresi protein NF-kB yang berperan dalam produksi berbagai protein pro-inflamasi di hati, sehingga rosella efektif menekan efek inflamasi (Ujianti *et al.*, 2023). Kajian lebih lanjut diperlukan untuk memastikan dampak pasti suplementasi ekstrak bunga rosella setelah aktivitas fisik terhadap reduksi karbonil protein. Selain berpotensi mengganggu fungsi beberapa protein, oksidasi protein sangat berbahaya karena mengubah keseimbangan redoks sel, mengganggu siklus sel, yang pada akhirnya menyebabkan kematian neuron (Akagawa, 2021).

Di antara proses stres oksidatif, protein carbonyl muncul sebagai biomarker yang menyebabkan kerusakan nyata pada sel (Yu *et al.*, 2022). Protein carbonyl biasanya didegradasi oleh sistem proteasom; namun, akumulasi yang berlebihan dapat menyebabkan pembentukan agregat protein, yang resisten terhadap degradasi dan dapat menyebabkan disfungsi seluler (Akagawa, 2021). Jika protein carbonyl di sel menumpuk, mereka akan berdampak dan

menyebabkan efek sitotoksik (Akagawa, 2021). Selain itu, protein carbonyl membuat sel lebih rentan terhadap pemicu apoptosis selain menyebabkan perubahan struktural dan fungsional (Martínez-Orgado *et al.*, 2023). Akibatnya, protein carbonyl telah memperoleh signifikansi sebagai penanda penting stres oksidatif, karena sensitivitasnya serta konsekuensi struktural dan fungsionalnya (Martini *et al.*, 2020). Menurut temuan kajian sebelumnya, pemberian ekstrak bunga rosella pada tikus dengan diabetes melitus secara signifikan menurunkan kadar protein carbonyl (Mohamed *et al.*, 2013). Selanjutnya, kajian sebelumnya telah menunjukkan bahwa ekstrak bunga rosella memiliki sifat antioksidan yang dapat membantu mengurangi stres oksidatif (Herranz-López *et al.*, 2017). Kualitas antioksidan rosella sudah diketahui secara luas (Da-Costa-Rocha *et al.*, 2014).

Superoxide Dismutase (SOD) berpartisipasi dalam disproporsionasi radikal bebas superoksida di dalam dan luar sel sehingga membran sel dan DNA terlindungi dari kerusakan oleh radikal bebas oksigen (Tikhonov *et al.*, 2016). Enzim SOD memainkan peran penting dalam menyeimbangkan konsentrasi oksidan biologis, yang dapat melindungi semua organisme aerobik dari kerusakan oksidatif yang disebabkan oleh oksidan biologis. SOD adalah salah satu enzim antioksidan paling kuat, yang dapat mengkatalisis O_2^- untuk membentuk H_2O_2 untuk mengatur transduksi sinyal tubuh (Zheng *et al.*, 2023). Pada konsentrasi rendah, H_2O_2 bertindak sebagai pembawa pesan kedua dalam jalur pensinyalan redoks, memodulasi peradangan, angiogenesis, dan ekspresi gen. Namun, akumulasi H_2O_2 yang berlebihan dapat berkontribusi pada stres oksidatif dan kerusakan sel (Zheng *et al.*, 2023). Selain itu, H_2O_2 berdifusi melintasi membran sel melalui saluran air aquaporin,

mentransposisi sinyal redoks dari lokasi di mana sinyal redoks dihasilkan ke lokasi yang diinginkan (Bienert *et al.*, 2007). Sebuah kajian menunjukkan bahwa latihan yang intens menyebabkan inflamasi dan stres oksidatif (Lee *et al.*, 2023). Hasil kajian sebelumnya melaporkan bahwa peserta yang berpartisipasi dalam lomba lari ultramaraton 50 km terbukti memberikan peningkatan produksi protein carbonyl secara signifikan, durasi dan intensitas olahraga berpengaruh terhadap tingkat ROS (Vezzoli *et al.*, 2016). Studi lain melihat bagaimana lari memengaruhi modifikasi oksidatif asam nukleat dan menemukan bahwa lari maraton langsung menyebabkan respons inflamasi akut. Hal ini menunjukkan bahwa lari maraton juga memengaruhi aktivitas antioksidan endogen sebagai proses adaptasi olahraga terhadap peningkatan ROS (Larsen *et al.*, 2020).

BAB VI

PENUTUP

Pemberian ekstrak bunga rosela (*Hibiscus sabdariffa*) setelah latihan fisik berpotensi memberikan efek positif terhadap kondisi tubuh pascaaktivitas fisik yang intens. Hal ini terlihat dari kemampuan ekstrak rosela dalam menurunkan kadar protein karbonil, yang merupakan salah satu indikator terjadinya stres oksidatif akibat peningkatan radikal bebas saat tubuh beraktivitas fisik. Selain itu, konsumsi ekstrak rosela juga terbukti dapat meningkatkan kadar enzim Superoxide Dismutase (SOD), yaitu salah satu enzim antioksidan penting yang berperan dalam menjaga keseimbangan sistem pertahanan tubuh.

Dengan demikian, ekstrak rosela dapat dipertimbangkan sebagai salah satu sumber antioksidan alami yang bermanfaat untuk dikonsumsi pascalatihan fisik. Potensi ini sekaligus membuka peluang pemanfaatan rosela dalam bidang kesehatan, olahraga, maupun nutrisi fungsional.

DAFTAR PUSTAKA

Akagawa, M. (2021) 'Protein carbonylation: molecular mechanisms, biological implications, and analytical approaches', *Free Radical Research*, 55(4), pp. 307–320. Available at: <https://doi.org/10.1080/10715762.2020.1851027>.

Amiri, H. *et al.* (2023) 'Swimming exercise reduces oxidative stress and liver damage indices of male rats exposed to electromagnetic radiation', *Life Sciences*, 317. Available at: <https://doi.org/doi.org/10.1016/j.lfs.2023.121461>.

Assumpção, C.D.O. *et al.* (2013) 'Exercise-induced muscle damage and running economy in humans', *The Scientific World Journal* [Preprint]. Available at: <https://doi.org/10.1155/2013/189149>.

Bienert, G.P. *et al.* (2007) 'Specific aquaporins facilitate the diffusion of hydrogen peroxide across membranes', *Journal of Biological Chemistry*, 282(2), pp. 1183–1192. Available at: <https://doi.org/10.1074/jbc.M603761200>.

Cherian, D. *et al.* (2019) 'Malondialdehyde as a marker of oxidative stress in periodontitis patients', *Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences* [Preprint]. Available at: https://doi.org/10.4103/JPBS.JPBS_17_19.

Ciciliot, S. *et al.* (2013) 'Muscle type and fiber type specificity in muscle wasting', *International Journal of*

Biochemistry and Cell Biology [Preprint]. Available at:
<https://doi.org/10.1016/j.biocel.2013.05.016>.

Da-Costa-Rocha, I. *et al.* (2014) 'Hibiscus sabdariffa L. - A phytochemical and pharmacological review', *Food Chemistry*, 165, pp. 424-443. Available at:
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.05.002>.

Dalle-Donne, I. *et al.* (2003) 'Protein carbonyl groups as biomarkers of oxidative stress', *Clinica Chimica Acta*, 329(1), pp. 23-38. Available at:
[https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0009-8981\(03\)00003-2](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0009-8981(03)00003-2).

Daniela, M. *et al.* (2022) 'Effects of Exercise Training on the Autonomic Nervous System with a Focus on Anti-Inflammatory and Antioxidants Effects', *Antioxidants*, 11(2). Available at:
<https://doi.org/10.3390/antiox11020350>.

Davies, M.J. (2016) 'Protein oxidation and peroxidation.', *The Biochemical journal*, 473(7), pp. 805-825. Available at:
<https://doi.org/10.1042/BJ20151227>.

Estévez, M., Díaz-Velasco, S. and Martínez, R. (2022) 'Protein carbonylation in food and nutrition: a concise update.', *Amino acids*, 54(4), pp. 559-573. Available at: <https://doi.org/10.1007/s00726-021-03085-6>.

Frank, T. *et al.* (2012) 'Consumption of Hibiscus sabdariffa L. aqueous extract and its impact on systemic antioxidant potential in healthy subjects', *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 92(10), pp. 2207-

2218. Available at:
<https://doi.org/10.1002/jsfa.5615>.

Herranz-López, M. *et al.* (2017) 'Multi-targeted molecular effects of Hibiscus sabdariffa polyphenols: An opportunity for a global approach to obesity', *Nutrients*, 9(8). Available at:
<https://doi.org/10.3390/nu9080907>.

Hu, X. *et al.* (2020) 'Muscle Eccentric Contractions Increase in Downhill and High-Grade Uphill Walking', *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology* [Preprint]. Available at:
<https://doi.org/10.3389/fbioe.2020.573666>.

Jamrozik, D., Borymska, W. and Kaczmarczyk-Żebrowska, I. (2022) 'Hibiscus sabdariffa in Diabetes Prevention and Treatment—Does It Work? An Evidence-Based Review', *Foods*, 11(14). Available at:
<https://doi.org/10.3390/foods11142134>.

Joven, J. *et al.* (2014) 'Hibiscus sabdariffa extract lowers blood pressure and improves endothelial function', *Molecular Nutrition and Food Research*, 58(6), pp. 1374–1378. Available at:
<https://doi.org/10.1002/mnfr.201300774>.

Khongrum, J. *et al.* (2022) 'Antidyslipidemic, Antioxidant, and Anti-inflammatory Effects of Jelly Drink Containing Polyphenol-Rich Roselle Calyces Extract and Passion Fruit Juice with Pulp in Adults with Dyslipidemia: A Randomized, Double-Blind, Placebo-Controlled Trial', *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2022.

Available at:
<https://doi.org/10.1155/2022/4631983>.

Kruk, J. *et al.* (2022) 'Antioxidative properties of phenolic compounds and their effect on oxidative stress induced by severe physical exercise', *Journal of Physiological Sciences*, 72(1), pp. 1-24. Available at: <https://doi.org/10.1186/s12576-022-00845-1>.

Larsen, E.L. *et al.* (2020) 'Differential time responses in inflammatory and oxidative stress markers after a marathon: An observational study', *Journal of Sports Sciences*, 38(18), pp. 2080-2091. Available at: <https://doi.org/10.1080/02640414.2020.1770918>.

Lee, T.T. *et al.* (2023) 'Effect of Acute High-Intensity Interval Training on Immune Function and Oxidative Stress in Canoe/Kayak Athletes', *Biology*, 12(8), pp. 1-13. Available at: <https://doi.org/10.3390/biology12081144>.

Li, J. *et al.* (2020) 'The molecular adaptive responses of skeletal muscle to high-intensity exercise/training and hypoxia', *Antioxidants* [Preprint]. Available at: <https://doi.org/10.3390/antiox9080656>.

Maritim, A.C., Sanders, R.A. and Watkins, J.B. (2003) 'Diabetes, oxidative stress, and antioxidants: A review', *Journal of Biochemical and Molecular Toxicology* [Preprint]. Available at: <https://doi.org/10.1002/jbt.10058>.

- Markus, I. *et al.* (2021) 'Exercise-induced muscle damage: mechanism, assessment and nutritional factors to accelerate recovery', *European Journal of Applied Physiology* [Preprint]. Available at: <https://doi.org/10.1007/s00421-020-04566-4>.
- Martínez-Orgado, J. *et al.* (2023) 'Protein Carbonylation as a Biomarker of Oxidative Stress and a Therapeutic Target in Neonatal Brain Damage', *Antioxidants*, 12(10), pp. 1-13. Available at: <https://doi.org/10.3390/antiox12101839>.
- Martini, S. *et al.* (2020) 'Free radicals and neonatal encephalopathy: mechanisms of injury, biomarkers, and antioxidant treatment perspectives', *Pediatric Research*, 87(5), pp. 823-833. Available at: <https://doi.org/10.1038/s41390-019-0639-6>.
- Mohamed, A.I. *et al.* (2022) 'Hibiscus sabdariffa L. polyphenolic-rich extract promotes muscle glucose uptake and inhibits intestinal glucose absorption with concomitant amelioration of Fe²⁺-induced hepatic oxidative injury', *Journal of Food Biochemistry*, 46(12), pp. 1-17. Available at: <https://doi.org/10.1111/jfbc.14399>.
- Mohamed, J. *et al.* (2013) 'The protective effect of aqueous extracts of roselle (Hibiscus sabdariffa L. UKMR-2) against red blood cell membrane oxidative stress in rats with streptozotocin-induced diabetes', *Clinics*, 68(10), pp. 1358-1363. Available at: [https://doi.org/10.6061/clinics/2013\(10\)11](https://doi.org/10.6061/clinics/2013(10)11).

- Owens, D.J. *et al.* (2019) 'Exercise-induced muscle damage: What is it, what causes it and what are the nutritional solutions?', *European Journal of Sport Science* [Preprint]. Available at: <https://doi.org/10.1080/17461391.2018.1505957>.
- Powers, S.K., Radak, Z. and Ji, L.L. (2016) 'Exercise-induced oxidative stress: past, present and future', *Journal of Physiology* [Preprint]. Available at: <https://doi.org/10.1113/JP270646>.
- Ratna, A.P. *et al.* (2018) 'Rosella Flower Extract Prevent Increasing Of Interleukin-6 And Amyloid-Levels In Brain Tissue Of Heated Diet-Treated Rats', *The Journal of Experimental Life Sciences*, 8(2), pp. 119–125. Available at: <https://doi.org/10.21776/ub.jels.2018.008.02.09>.
- Rebello-Marques, A. *et al.* (2018) 'Aging hallmarks: The benefits of physical exercise', *Frontiers in Endocrinology* [Preprint]. Available at: <https://doi.org/10.3389/fendo.2018.00258>.
- Riaz, G. and Chopra, R. (2018) 'A review on phytochemistry and therapeutic uses of Hibiscus sabdariffa L.', *Biomedicine and Pharmacotherapy*, 102(March), pp. 575–586. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2018.03.023>.
- Romero-Parra, N. *et al.* (2021) 'Exercise-Induced Muscle Damage During the Menstrual Cycle: A Systematic Review and Meta-Analysis', *Journal of strength and conditioning research* [Preprint]. Available at:

- <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003878>.
- Sapian, S. *et al.* (2023) 'Therapeutic Potential of Hibiscus sabdariffa Linn. in Attenuating Cardiovascular Risk Factors', *Pharmaceuticals*, 16(6), pp. 1–25. Available at: <https://doi.org/10.3390/ph16060807>.
- Scott, J.R. (1998) 'Fox's Physiological Basis for Exercise and Sport, 6th Edition', *Medicine & Science in Sports & Exercise* [Preprint]. Available at: <https://doi.org/10.1097/00005768-199812000-00016>.
- Sies, H. (2015) 'Oxidative stress: A concept in redox biology and medicine', *Redox Biology* [Preprint]. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.redox.2015.01.002>.
- Singh, M. *et al.* (2021) 'Extraction and characterization of polyphenolic compounds and potassium hydroxycitrate from Hibiscus sabdariffa', *Future Foods*, 4(September), p. 100087. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2021.100087>.
- Singh, R., Devi, S. and Gollen, R. (2015) 'Role of free radical in atherosclerosis, diabetes and dyslipidaemia: Larger-than-life', *Diabetes/Metabolism Research and Reviews* [Preprint]. Available at: <https://doi.org/10.1002/dmrr.2558>.
- Souissi, W. *et al.* (2020) 'Effect of different running exercise modalities on post-exercise oxidative stress markers in trained athletes', *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(10), pp. 1–12. Available at:

- <https://doi.org/10.3390/ijerph17103729>.
- Taherkhani, S., Suzuki, K. and Castell, L. (2020) 'A short overview of changes in inflammatory cytokines and oxidative stress in response to physical activity and antioxidant supplementation', *Antioxidants*, 9(9), pp. 1–18. Available at: <https://doi.org/10.3390/antiox9090886>.
- Tikhonov, I. V. *et al.* (2016) 'Effect of superoxide dismutase on the oxidation of methyl linoleate in micelles inhibited by nitroxyl radicals', *Russian Chemical Bulletin*, 65(12), pp. 2985–2987. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11172-016-1690-7>.
- Ujianti, I. *et al.* (2023) 'Effect of Roselle Flower Extract (*Hibiscus sabdariffa* Linn.) on Reducing Steatosis and Steatohepatitis in Vitamin B12 Deficiency Rat Model', *Medicina (Lithuania)*, 59(6). Available at: <https://doi.org/10.3390/medicina59061044>.
- Vezzoli, A. *et al.* (2016) 'Oxidative Stress Assessment in Response to Ultraendurance Exercise: Thiols Redox Status and ROS Production according to Duration of a Competitive Race', *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2016. Available at: <https://doi.org/10.1155/2016/6439037>.
- Viribay, A. *et al.* (2020) 'Effects of 120 g/h of carbohydrates intake during a mountain marathon on exercise-induced muscle damage in elite runners', *Nutrients* [Preprint]. Available at: <https://doi.org/10.3390/nu12051367>.

- Wang, Duanyang *et al.* (2022) 'Potential of Hibiscus sabdariffa L. and Hibiscus Acid to Reverse Skin Aging', *Molecules*, 27(18), pp. 1–12. Available at: <https://doi.org/10.3390/molecules27186076>.
- Wang, Y. *et al.* (2018) 'Superoxide dismutases: Dual roles in controlling ROS damage and regulating ROS signaling', *Journal of Cell Biology* [Preprint]. Available at: <https://doi.org/10.1083/jcb.201708007>.
- Xin, G. and Eshaghi, H. (2021) 'Effect of omega-3 fatty acids supplementation on indirect blood markers of exercise-induced muscle damage: Systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials', *Food Science and Nutrition* [Preprint]. Available at: <https://doi.org/10.1002/fsn3.2598>.
- Yu, S. *et al.* (2022) 'BMS-470539 Attenuates Oxidative Stress and Neuronal Apoptosis via MC1R/cAMP/PKA/Nurr1 Signaling Pathway in a Neonatal Hypoxic-Ischemic Rat Model', *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2022. Available at: <https://doi.org/10.1155/2022/4054938>.
- Zheng, M. *et al.* (2023) 'The Applications and Mechanisms of Superoxide Dismutase in Medicine, Food, and Cosmetics', *Antioxidants*, 12(9). Available at: <https://doi.org/10.3390/antiox12091675>.

Bunga rosella (*Hibiscus sabdariffa*) dikenal sebagai tanaman dengan kandungan antioksidan tinggi yang bermanfaat bagi kesehatan. Buku ini membahas secara ilmiah peran ekstrak bunga rosella dalam menurunkan kadar protein karbonil—penanda kerusakan oksidatif pada protein—serta meningkatkan aktivitas superoksida dismutase (SOD), enzim penting dalam sistem pertahanan tubuh terhadap radikal bebas. Buku ini mengungkap bagaimana konsumsi ekstrak bunga rosella dapat membantu memperbaiki keseimbangan oksidatif, mempercepat pemulihan, serta mendukung kinerja tubuh. Ditulis dengan pendekatan ilmiah namun mudah dipahami, buku ini tidak hanya bermanfaat bagi peneliti dan akademisi di bidang olahraga dan kesehatan, tetapi juga bagi praktisi kebugaran, mahasiswa, dan masyarakat umum yang tertarik pada terapi herbal berbasis bukti ilmiah.



Pustaka Aksara

