

RESPON FISILOGIS DAN BIOMOLEKULER PADA *HIGH INTENSITY INTERVAL TRAINING* (HIIT)

Ni Made Nuari Diahputri¹, Luh Putu Ratna Sundari²

¹ Program Magister Program Studi Fisiologi Keolahragaan Fakultas Kedokteran Universitas Udayana

²Departemen Fisiologi Fakultas Kedokteran Universitas Udayana

*Email: nuari.diahputri@gmail.com

ABSTRAK

High Intensity Interval Training (HIIT) didefinisikan sebagai latihan yang terdiri dari beberapa siklus dalam durasi yang pendek atau sedang dan intensitas yang tinggi dimana tiap siklusnya diselingi dengan waktu istirahat berupa latihan intensitas ringan. HIIT dapat mempengaruhi reaksi molekuler dan adaptasi fisiologis pada otot. HIIT dapat memberikan efek yang positif pada *cardiorespiratory fitness*, meningkatkan VO_2max dan dapat menunjang upaya penurunan kadar lemak tubuh. Dalam tulisan ini dibahas mengenai respon fisiologis dan respon biomolekuler pada *high intensity interval training*.

Kata kunci: HIIT, reaksi fisiologis, reaksi biomolekuler

ABSTRACT

High Intensity Interval Training (HIIT) is defined as an exercise that consists of several cycles of short or moderate duration, high intensity exercise alternated with light intensity recovery intervals. In muscle, high intensity interval training (HIIT) can affect molecular responses and physiological adaptations. HIIT have positive effects on improving *cardiorespiratory fitness*, increasing VO_2max , and supporting efforts to reduce body fat levels. The body's Physiological and biomolecular responses to high intensity interval training are discussed in this paper.

Keyword : *High Intensity Interval Training, body's physiological, biomolecular responses*

PENDAHULUAN

Olahraga adalah kegiatan terstruktur yang bertujuan untuk memperbaiki kinerja fisik, mempertahankan kebugaran serta bermanfaat untuk pemulihan pasca cedera. Olahraga dapat dikelompokkan menjadi olahraga yang bersifat statis atau olahraga yang bersifat dinamis. Pada saat melakukan olahraga akan terjadi kontraksi otot yang dapat meningkatkan pengeluaran energi akibat gerakan tubuh. Aktivitas fisik bermanfaat dan mampu menurunkan risiko penyakit degeneratif dan juga mampu memberikan efek anti aterogenik sehingga dapat menurunkan angka mortalitas akibat penyakit kardiovaskuler (Gibala, 2006).

Latihan kardio adalah latihan aerobik yang paling murah dan mudah dilakukan dan dapat memberikan kesehatan bagi tubuh kita, salah satunya bermanfaat bagi kesehatan jantung. Lari, senam, bersepeda dan berenang adalah beberapa jenis latihan kardio yang digemari. Latihan kardio dilakukan mulai dari intensitas rendah atau sedang dan dalam waktu atau durasi yang lama (>45 menit). Beberapa penelitian menemukan bahwa latihan yang efektif dan efisien dalam latihan kardio dan tidak memakan waktu yang lama yaitu dengan

melakukan *High Intensity Interval Training* (HIIT) (Gibala, 2006).

HIIT didefinisikan sebagai latihan yang terdiri dari beberapa siklus dalam durasi yang pendek atau sedang dan intensitas yang tinggi dimana tiap siklusnya diselingi dengan waktu istirahat berupa latihan intensitas ringan (Naesilla & Safitri, 2016). Contohnya dengan cara berlari sprint kira-kira 20-30 detik dan diikuti dengan berjalan atau berlari-lari kecil selama 60-90 detik. Seiring dengan meningkatnya intensitas gerak tubuh, jumlah oksigen yang masuk kedalam tubuh akan meningkat, namun peningkatan jumlah tersebut akan ada pada batas tertentu. HIIT ini dapat menyebabkan penebalan miokard ventrikel kiri jantung yang fisiologis sehingga kekuatan dan kemampuan jantung untuk memompa darah tiap kontraksi meningkat, menurunkan jumlah denyut nadi per menitnya. Penurunan aktivitas saraf simpatis yang disebabkan ketika melakukan HIIT akan menurunkan aktivitas jantung, produksi *norepinephrine* dan *endothelin-1* sehingga meningkatkan dilatasi pembuluh darah dan resistensi pembuluh darah berkurang (Ciolac, *et al.*, 2010).

HIIT juga efektif dalam mengurangi tekanan darah pada pasien hipertensi karena meningkatkan fungsi endotel dan sensitivitas insulin (Ciolac, *et al.*, 2010). Lebih dari itu, waktu yang diperlukan untuk latihan interval juga lebih singkat (± 30 menit) sehingga latihan ini menjadi fleksibel untuk dilakukan. Penerapan HIIT untuk perbaikan sistem metabolik dan kardiovaskuler, memerlukan waktu yang lebih pendek dibandingkan latihan tradisional (Sperlich, *et al.*, 2017). Penerapan HIIT selama 6 sesi, dengan lama durasi 2 minggu, menunjukkan dampak positif terhadap adaptasi kardiometabolik (Babraj, *et al.*, 2009). Banyak penelitian yang menunjukkan bahwa interval dengan durasi pendek pada latihan (30-40 detik) memiliki efek yang menguntungkan untuk kebugaran kardiorespirasi, kapasitas oksidatif otot skeletal, dan perbaikan intensitas insulin (Babraj, *et al.*, 2009).

Bukti yang berkembang juga menunjukkan bahwa HIIT ini dapat merangsang perbaikan fisiologis yang sebanding dengan latihan dengan intensitas sedang meskipun waktu pada latihan HIIT ini jauh lebih rendah dan volume latihan yang berkurang (Gibala & Megee, 2008). Penemuan latihan HIIT ini penting dari perspektif kesehatan masyarakat, mengingat masyarakat banyak yang kurang berpartisipasi dalam olahraga karena tidak memiliki waktu yang cukup, maka dengan latihan HIIT ini masyarakat dapat melakukan olahraga secara rutin dan teratur karena dengan waktu dan durasi yang sebentar dapat memberikan manfaat yang signifikan (Gibala, 2006).

Tulisan ini merupakan literatur (*narrative*) *review* yang membahas mengenai respon fisiologis dan respon biomolekuler pada HIIT.

HASIL DAN PEMBAHASAN

HIIT didefinisikan sebagai latihan yang terdiri dari beberapa siklus dalam durasi yang pendek atau sedang dan intensitas yang tinggi dan tiap siklusnya diselingi dengan waktu istirahat berupa latihan intensitas ringan (Naesilla & Safitri, 2006). Contohnya dengan cara berlari sprint kira-kira 20-30 detik dan diikuti dengan berjalan atau berlari-lari kecil selama 60-90 detik.

Ada beberapa faktor yang harus dipenuhi dalam menyusun latihan untuk interval training (Harsono, 1988) yaitu: 1) lamanya latihan, 2) Beban latihan, 3) pengulangan (*repetition*) dalam latihan, dan 4) masa istirahat setelah setiap repetisi latihan. Program latihan ini menggunakan sistem latihan aerobik dan anaerobik yang menyebabkan terjadinya kontraksi otot lebih cepat karena latihan tersebut memerlukan tenaga yang besar dan intensitas tinggi. Durasi penggunaan intensitas tinggi selama 5 detik sampai 8 menit lebih dilakukan pada 80%-95% HR_{max} dan saat intensitas

pemulihan pada 50%-70% HR_{max} dilakukan secara bergantian dengan total 20-30 menit. Apabila latihan ini dilakukan secara terprogram maka dapat meningkatkan kekuatan otot yang secara langsung meningkatkan kecepatan (Harsono, 1988).

Adaptasi Fisiologis High Intensity Interval Training (HIIT)

HIIT secara fisiologis dapat mempengaruhi mekanisme molekuler pada otot rangka, dimana HIIT dapat meningkatkan kapasitas mitokondria. HIIT dapat mengaktifasi *proliferator peroksisom* diaktifkannya reseptor γ *coactivator* (PGC) -1 α , yang dianggap sebagai master regulator dari biogenesis mitokondria pada otot (Wuu, *et al.*, 1999). Bukti menunjukkan intensitas olahraga adalah faktor kunci yang mempengaruhi aktivasi PGC-1 α pada otot rangka manusia [8]. Dalam hal ini latihan HIIT dengan volume rendah akan meningkatkan PGC-1 α mRNA beberapa kali lipat saat diukur 3 jam setelah latihan (Gibala, *et al.*, 2009), (Gibala, *et al.*, 2012), hal ini sebanding dengan adanya peningkatan ekspresi mRNA PGC-1 α yang diamati setelah melakukan *continuous endurance-type exercise* secara terus menerus.

Hampir sama dengan latihan *endurance*, latihan HIIT secara akut dapat mengaktifkan PGC-1 dengan meningkatkannya translokasi nuclear. Peningkatan di PGC-1 nuklear akan diikuti dengan peningkatan ekspresi mRNA dari beberapa gen mitokondria (Gibala, 2006). Adaptasi mitokondria terlibat secara singkat ketika melakukan latihan HIIT. Sinyal *upstream* yang mengaktifkan PGC-1 α dan biogenesis mitokondria sebagai respon terhadap HIIT terkait dengan perubahan kuat dalam rasio ATP:ADP/AMP yang mengikuti latihan dan bersamaan aktivasi *5'-adenosine monophosphate-activated protein kinase* (AMPK) (Gibala, *et al.*, 2009). Aktivasi protein yang diaktifkan mitogen p38 kinase (MAPK), melalui peningkatan generasi spesies oksigen reaktif (ROS). Peningkatan kadar protein PGC-1 juga ikut meningkat penanda mitokondria setelah suatu periode dari latihan HIIT volume rendah. Enam minggu latihan HIIT meningkatkan kandungan protein PGC-1 sebesar 100% pada individu muda dan sehat, dan latihan HIIT selama 2 minggu 10×1 menit menghasilkan 25% peningkatan protein PGC-1 nuklear (Gibala, 2006).

Hasil ini menunjukkan bahwa PGC-1 α terlibat dalam mengatur beberapa adaptasi metabolik pada saat melakukan HIIT dengan volume rendah. Mengingat terjadi efek positif setelah melakukan HIIT yaitu terjadinya peningkatan otot PGC-1 α yang memiliki kapasitas oksidatif, pertahanan antioksidan, pengambilan glukosa, dan resistensi pada sarkopenia terkait usia

dan jalur anti-inflamasi. HIIT berbasis *wingate* yang dilakukan selama 2 minggu telah dilaporkan dapat meningkatkan kapasitas kardiorespirasi yang tercermin dari perubahan dalam pengambilan oksigen puncak ($VO_2\ peak$) (Gibala, *et al.* 2012).

Respon Adaptif dan Molekuler *High Intensity Interval Training* (HIIT) pada Otot Rangka

HIIT merupakan salah satu metode terbaik untuk meningkatkan VO_{2max} dan kapasitas daya tahan tubuh untuk atlet dan untuk masyarakat umum. Karena intensitas tinggi dari jenis pelatihan ini, respons adaptif tidak terbatas pada serat otot Tipe I, seperti yang ditemukan untuk latihan intensitas sedang dengan durasi lama. Bahkan dengan durasi latihan yang singkat, HIIT dapat menginduksi aktivasi jalur AMPK, PGC-1 α , SIRT1 dan spesies oksigen reaktif (ROS), seperti dengan modulasi homeostasis Ca^{2+} , yang mengarah ke peningkatan biogenesis mitokondria, dan angiogenesis (Torma, *et al.*, 2019).

HIIT memberikan dampak pada kapasitas oksidatif otot rangka. Energi yang besar dari HIIT menghasilkan peningkatan yang signifikan pada rasio ADP/ATP dan AMP/ATP seluler yang dapat mengaktifkan AMPK, salah satu sensor energi terpenting dari sel. AMP dan tingkat spesies oksigen reaktif (ROS) selama HIIT dapat berkontribusi pada biogenesis mitokondria dengan mengaktifkan reseptor- γ coactivator (PGC) yang diaktifkan oleh proliferasi peroksisom- α dan sistem faktor pernapasan nuklir hilir 1-2 (NRF1- NRF2 (Torma, *et al.*, 2019).

Dalam biogenesis mitokondria, AMPK dapat mengaktifkan koaktivator nuklir PGC-1 α , yang disebut sebagai protein pengatur utama biogenesis mitokondria. PGC-1 α memainkan peran integratif dalam mengatur biogenesis mitokondria. Aspek puncak dari jalur molekuler terkait PGC-1 α adalah kepekaannya terhadap banyak rangsangan intraseluler dan dengan mengaktifkan NRF1, NRF2, PPAR γ , ERR, YY1 secara bersamaan, ia mengatur adaptasi metabolisme oksidatif seluler. Molekul penting lainnya dalam bioenergetika dan metabolisme adalah NAD^+ dan juga bentuk tereduksi NADH. Selama latihan HIIT, NADH diproduksi dalam glikolisis dan diangkut ke mitokondria untuk oksidasi atau, dengan piruvat diproses oleh laktat dehidrogenase (LDH) menjadi NAD^+ dan laktat (Torma, *et al.*, 2019).

Pengaruh *High Intensity Interval Training* (HIIT) Terhadap Ekspresi Gen

Pada penelitian yang dilakukan oleh Nordsborg (2003), menyatakan bahwa latihan akut dari HIIT menginduksi peningkatan sementara dalam transkripsi gen yang berhubungan dengan

regulasi metabolisme dan homeostasis ion. beberapa minggu latihan olahraga intensitas tinggi menyebabkan peningkatan tingkat mRNA saat istirahat dan peningkatan sementara mRNA setelah melakukan HIIT berkurang jika latihan dilakukan pada beban kerja absolut yang sama setelah periode latihan karena berkurangnya tekanan pada sel otot. Dimana subjek dalam penelitian ini yaitu enam subjek laki-laki sehat dan aktif. Hasil penelitiannya menyatakan bahwa tingkat istirahat mRNA PDK4 sama dalam keadaan tidak terlatih maupun keadaan terlatih. Tingkat mRNA PDK4 yang lebih tinggi terlihat pada 3 jam pemulihan dalam keadaan tidak terlatih dibandingkan dengan keadaan terlatih (Nordsborg, *et al.*, 2003).

Penelitian ini menunjukkan bahwa Na⁺-K⁺-ATPase -subunit, PDK4, dan HKII mRNA meningkat setelah latihan HIIT. Regulasi transkripsi gen yang dipilih penting kaitannya dengan adaptasi terhadap pelatihan HIIT. Lebih lanjut, pengurangan atau penghapusan peningkatan mRNA ditemukan ketika subjek melakukan beban kerja absolut yang sama setelah periode pelatihan HIIT (Nordsborg, *et al.*, 2003).

Pengaruh *High Intensity Interval Training* (HIIT) terhadap Kenaikan Jumlah Sel Eritrosit dan $VO_2\ maks$.

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Yunus (2018) menyatakan bahwa HIIT 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 eritropoetin. Hormon eritropoetin akan menyediakan sumsum tulang untuk memproduksi sel eritrosit yang lebih banyak (Yunus, 2017).

Penelitian yang dilakukan oleh Nugraha (2017) dalam jurnal "Pengaruh *High Intensity Interval Training* (HIIT) terhadap Kebugaran Kardiorespirasi" juga menyatakan bahwa HIIT memiliki efek dalam meningkatkan VO_{2max} dan menyebabkan penebalan miokard ventrikel kiri jantung yang fisiologis sehingga kekuatan dan kemampuan jantung untuk memompa darah tiap kontraksi meningkat sehingga menurunkan jumlah denyut nadi per menitnya. Penurunan aktivitas saraf simpatis yang disebabkan oleh HIIT akan menurunkan aktivitas jantung, produksi norepinefrin dan endothelin-1 sehingga meningkatkan dilatasi pembuluh darah dan resistensi pembuluh darah berkurang. HIIT juga efektif dalam mengurangi tekanan darah pada pasien hipertensi karena meningkatkan fungsi endotel dan sensitivitas insulin (Ridwan & Berawi, 2017).

Penelitian yang dilakukan oleh Fleg (2016) didapatkan hasil bahwa terjadi peningkatan dari VO_2max sehingga terjadi peningkatan fungsi mitokondria skeletal dan *uptake* dari *pulmonary oxygen*. VO_2max diyakini merupakan salah satu indikator penting dalam mortalitas penyakit kardiovaskuler. *Cardiorespiratory fitness* (CRF) merupakan ukuran sejauh apa tubuh dapat mengantarkan oksigen ke dalam otot selama latihan yang berkepanjangan, dan juga seberapa baik otot untuk menyerap dan menggunakan oksigen untuk menghasilkan energi *adenosine triphosphate* (ATP) melalui respirasi seluler. *Cardiorespiratory fitness* (CRF) diukur melalui tes VO_2max yaitu tes untuk mengukur jumlah maksimum oksigen yang dapat dikonsumsi untuk menghasilkan energi pada level seluler (Fleg, *et al.*, 2016).

Selain memiliki efek meningkatkan *cardiorespiratory fitness*, HIIT juga menginduksi perubahan struktur pada jantung. Pada penelitian, ditemukan 12% peningkatan dinding ventrikel kiri, dan *end-diastolic blood volume*. Penebalan ini berbeda pada penebalan dinding yang patologis dimana memiliki karakteristik adanya akumulasi kolagen. Dengan bertambah tebalnya dinding ventrikel dan kekuatan otot-otot jantung hal ini juga berarti bahwa volume darah yang mengisi ventrikel selama diastol akan menjadi lebih banyak. Pengaruh ini menyebabkan kemampuan isi sekuncup (*stroke volume*) menjadi lebih besar. Faktor lain yang ikut membantu meningkatnya isi sekuncup adalah meningkatnya kontraktilitas miokardium (kemampuan otot jantung untuk berkontraksi). Meningkatnya kemampuan otot jantung berkontraksi berhubungan dengan aktivitas ATPase di dalam otot jantung atau meningkatnya kalsium ekstraseluler yang tersedia sehingga menyebabkan meningkatnya interaksi dengan elemen-elemen kontraktil. HIIT juga dapat menurunkan tekanan darah sistolik dan diastolik sebesar 10 mmHg dan 6 mmHg ((Fleg, *et al.*, 2016).

Putra (2017) menyatakan bahwa adanya hubungan antara nilai hemoglobin, eritrosit dan hematokrit setelah melakukan latihan HIIT, namun tidak terdapat hubungan dengan peningkatan VO_2max . Beberapa studi telah menyatakan bahwa metode latihan HIIT dapat meningkatkan VO_2max secara signifikan dan menunjang upaya penurunan kadar lemak tubuh (Boutcher, 2011). Dapat diketahui bahwa peningkatan VO_2max tidak diiringi oleh peningkatan hemoglobin, eritrosit dan hematokrit, karena HIIT dapat meningkatkan jumlah mitokondria dalam sel. HIIT mengaktifasi 5'- *AMP-activated protein kinase* (AMPK) dan *p38 mitogen-activated protein kinase* (MAPK), kedua kinase yang responsif terhadap latihan tersebut terlibat secara langsung dalam proses aktivasi

PGC-1 α yang memainkan peran sentral dalam regulasi metabolisme energi di tingkat seluler. Berlimpahnya PGC-1 α diperkirakan mendukung aktivasi faktor transkripsi (TF) yang meningkatkan transkripsi gen mitokondria dan pada akhirnya menghasilkan akumulasi protein mitokondria menjadi lebih banyak. Jumlah mitokondria yang lebih banyak berarti jumlah organel pelaku metabolisme aerobik menjadi lebih banyak pula. Banyaknya pelaku metabolisme aerobik tersebut memungkinkan aktivitas metabolisme aerobik yang terjadi di dalam sel menjadi lebih banyak pula. Banyaknya aktivitas metabolisme aerobik dalam sel tentunya menyebabkan jumlah kebutuhan oksigen yang digunakan untuk metabolisme akan meningkat sehingga kapasitas atau kemampuan penggunaan oksigen (VO_2max) setiap sel juga ikut meningkat (Putra, *et al.*, 2017).

Pengaruh High Intensity Interval Training pada serum *chemerin*, faktor tumor alfa nekrosis dan resistensi insulin

Beberapa literatur menyebutkan bahwa HIIT baik dilakukan untuk mengontrol berat badan pada penderita obesitas. Penelitian yang dilakukan oleh Taherichadorneshin (2019) pada 28 wanita kelebihan berat badan, sehat dan muda menyatakan bahwa adanya penurunan yang signifikan pada serum *chemerin* dan konsentrasi TNF- α pada kelompok HIIT. Selain itu, profil lipid terlihat membaik setelah melakukan HIIT. Berat badan, indeks massa tubuh, lemak tubuh dan rasio pinggang-pinggul berkurang secara signifikan setelah melakukan HIIT. Namun, hasil yang didapatkan tidak signifikan untuk perbedaan resistensi insulin dan kadar insulin antara kelompok HIIT dan kelompok kontrol (Taheri, *et al.*, 2019).

Serum *chemerin* pada kelompok yang diberikan HIIT mengalami penurunan, hal ini disebabkan oleh intensitas HIIT yang diberikan secara kronis, dimana aktivitas fisik yang terjadi penting untuk menopang tingkat *chemerin* rendah dimana individu yang aktif secara fisik biasanya memiliki profil adipokin yang lebih baik daripada orang yang kurang aktif. serum *chemerin* akan berkurang secara signifikan setelah terjadi penurunan berat badan. *Chemerin* memiliki korelasi positif langsung dengan parameter adipositas yaitu indeks massa tubuh dan persentase lemak tubuh. Oleh karena itu, kemungkinan besar salah satu alasan terjadinya penurunan *chemerin* setelah melakukan HIIT adalah karena berkurangnya lemak tubuh pada subjek yang kelebihan berat badan. Selanjutnya terjadi penurunan serum *chemerin* menunjukkan bahwa perubahan persentase lemak tubuh setelah 8 minggu melakukan HIIT berperan penting dalam regulasi infiltrasi makrofag ke

jaringan adiposa dan inflamasi serum, dan hasil penelitian ini menyimpulkan bahwa 8 minggu melakukan HIIT menyebabkan berkurangnya kadar *chemerin* dalam serum tetapi tidak dapat mengurangi resistensi insulin (Taheri, *et al.*, 2019).

Efektivitas High Intensity Interval Training pada Beberapa Kasus

HIIT dapat memberikan dampak yang positif pada pasien dengan kondisi *rheumatoid arthritis* (RA). HIIT yang dilakukan selama 10 minggu baik pada RA dan kelompok pradiabetes, terjadi perubahan intramuskular profil sitokin yang dikaitkan dengan perubahan komposisi tubuh yang bertujuan untuk meningkatkan massa otot dan penurunan persentase lemak tubuh. Penurunan serum galektin-3 juga dikaitkan dengan penurunan lemak intramuskular di kohort RA dengan peningkatan kebugaran kardiorespirasi setelah latihan olahraga. Kadar galektin-3 yang lebih tinggi dalam serum RA dan cairan sinovial mencerminkan faktor risiko *cardiovascular disease* (CVD), termasuk obesitas *sarcopenic*, yang ada pada penderita RA yang lebih muda. Pengurangan galektin-3 yang dimediasi oleh latihan HIIT dikaitkan dengan meningkatnya fungsi kebugaran kardipulmoner dan kardiovaskular dan indikasi penurunan risiko kematian. Galektin-3 mungkin merupakan faktor risiko baru *cardiovascular disease* (CVD) dan penanda remodeling otot abnormal di RA yang dapat dimodulasi dengan latihan olahraga seperti melakukan HIIT (Andonian, 2019).

Latihan HIIT juga memberikan dampak yang signifikan terhadap persentase lemak wanita menopause penderita obesitas. HIIT juga sangat efektif jika diterapkan pada orang lanjut usia, seperti wanita pada masa post menopause. Berjalan cepat dan diselingi dengan berjalan lambat merupakan olahraga yang efektif untuk wanita menopause, yang jika rutin dilakukan akan membantu menambah kekuatan dan massa otot sekaligus membakar lemak dalam tubuh (Putra, *et al.*, 2018).

KESIMPULAN

HIIT didefinisikan sebagai latihan yang terdiri dari beberapa siklus dalam durasi yang pendek atau sedang dan intensitas yang tinggi dan tiap siklusnya diselingi dengan waktu istirahat berupa latihan intensitas ringan. HIIT secara fisiologis dapat mempengaruhi mekanisme molekuler pada otot rangka, dimana HIIT dapat meningkatkan kapasitas mitokondria, meningkatkan *cardiorespiratory fitness*, meningkatkan VO_2max secara signifikan dan menunjang upaya penurunan kadar lemak tubuh.

DAFTAR PUSTAKA

- Gibala, M.J. (2006) "Short-term sprint interval versus traditional endurance training: Similar initial adaptations in human skeletal muscle and exercise performance," *Journal of Physiology*, vol. 575, no. 3, pp. 901–911, doi: 10.1113/jphysiol.2006.112094.
- Gibala, M.J., Little, J.P., Macdonald, M.J., Hawley, J.A. (2012). "Physiological adaptations to low-volume, high-intensity interval training in health and disease," *Journal of Physiology*, vol. 590, no. 5, pp. 1077-1084, doi:10.1113/jphysiol.2011.22472.
- Torma, F., Gombos, Z., Jokai, M., Takeda, M., Mimura, T., Radak, Z. (2019). "High intensity interval training and molecular adaptive response of skeletal muscle," *Sports Medicine and Health Science*, vol. 1, no. 1. KeAi Communications Co., pp. 24–32, doi: 10.1016/j.smhs.2019.08.003.
- Nordsborg, N., Bangsbo, J., Pilegaard, H. (2003). "Effect of high-intensity training on exercise-induced gene expression specific to ion homeostasis and metabolism," *J Appl Physiol*, vol. 95, pp. 1201–1206, doi: 10.1152/jappphysiol.00257.2003.-Changes.
- Yunus, M. (2017). "Pengaruh Latihan Interval Terhadap Kenaikan Jumlah Sel Eritrosit dan VO_2 Maks."
- Nugraha, R & Berawi, K.N. (2017). "Pengaruh High Intensity Interval Training (HIIT) terhadap Kebugaran Kardiorespirasi.
- Fleg, J.L. (2016). "Salutary effects of high-intensity interval training in persons with elevated cardiovascular risk [version 1; referees: 3 approved]," *F1000Research*, vol. 5. Faculty of 1000 Ltd. doi: 10.12688/f1000research.8778.1.
- Boutcher, S.H. (2011). "High-intensity intermittent exercise and fat loss," *Journal of Obesity*, vol. 2011. Hindawi Publishing Corporation, doi: 10.1155/2011/868305.
- Putra, K.P., Ardha, M.A., Kinasih, A., Aji, R.S. (2017). "Korelasi perubahan nilai VO_2max , eritrosit, hemoglobin dan hematokrit setelah latihan high intensity interval training," *Jurnal Keolahragaan*, vol. 5, no. 2, p. 161, doi: 10.21831/jk.v5i2.14875.
- Taheri, C.H., Cheragh-Birjandi, S., Goodarzy, S., Ahmadabadi, F. (2019). "The impact of high intensity interval training on serum *chemerin*, tumor necrosis factor- α and insulin resistance in overweight women," *Obes Med*, vol. 14, doi: 10.1016/j.obmed.2019.100101.
- Andonian, B.J. (2018). "Effect of high-intensity interval training on muscle remodeling in

- rheumatoid arthritis compared to prediabetes,” *Arthritis Res Ther*, vol. 20, no. 1, doi: 10.1186/s13075-018-1786-6.
- Naesilla, R.A & Safitri, M. (2016). “Latihan Intervel Intensitas Tinggi Menurunkan Tekanan Darah Sistol Istirahat Tetapi Tidak Menurunkan Tekanan Darah Diastol dan Denyut Nadi Istirahat Pada Dewasa Muda Sehat Normotensif.
- Putra, M.A., Fitria, R., Putri, R.E. (2018). “Pengaruh High Intensity Interval Training (HIIT) terhadap Persentase Lemak Tubuh Wanita Menopause Penderita Obesitas,” *Gelanggang Olahraga: Jurnal Pendidikan Jasmani dan Olahraga (JPJO)*, vol. 2, no. 1, pp. 158–166, doi: 10.31539/jpjo.v2i1.417.
- Ciolac, E.G., Bocchi, E.A., Bortolotto, L.A., Carvalho, V.O., Greve, J.M.D., Guimarães, G.V. (2010). “Effects of high-intensity aerobic interval training vs. moderate exercise on hemodynamic, metabolic and neuro-humoral abnormalities of young normotensive women at high familial risk for hypertension,” *Hypertension Research*, vol. 33, no. 8, pp. 836–843, doi: 10.1038/hr.2010.72.
- Sperlich, B., De Maré Es, M., Koehler, K., Linville, J., Holmberg, H., Mester, J. (2017) “Effect Of 5 week Of High- Intensity Interval Training Vs. Volume Training In 14-Years-Old Soccer Players.” [Online]. Available: www.nscj-jscr.org.
- Babraj, J.A., Vollaard, N.B., Keast, C., Guppy, F.M., Cottrell, G., Timmons, J.A. (2009) “Extremely short duration high intensity interval training substantially improves insulin action in young healthy males,” *BMC Endocr Disord*, vol. 9, doi: 10.1186/1472-6823-9-3.
- Gibala, M.J & Mcgee, S.L. (2008) “Metabolic Adaptations Short-term High-Intensity Interval Training: A Little Pain for a Lot of Gain?” [Online]. Available: www.acsm-essr.org.
- Harsono. (1988). *Coaching dan Aspek-aspek Psikologis dalam Coaching*. Jakarta: CV. Tambak Kusuma.
- Wu, Z., Puigserver, P., Andersso, U., Zhang, C., Adelmant, G., Mootha, V., Troy, A., Cinti, S., Lowell, B., Scarpulla, R.C., Spiegelman, B.M. (1999). *Mechanisms controlling mitochondrial biogenesis and respiration through the thermogenic coactivator PGC-1*. *Cell* 98, 115–124.
- Gibala, M.J., Mcgee, S.L., Garnham, A.P., Howlett, K.F., Snow, R.J., Hargreaves, M. (2009) “Brief intense interval exercise activates AMPK and p38 MAPK signaling and increases the expression of PGC-1 in human skeletal muscle,” *J Appl Physiol*, vol. 106, pp.929–934, doi: 10.1152/jappphysiol.90880.2008.