

Jurnal Multidisiplin Dehasen – Cover (1)

<https://jurnal.unived.ac.id/index.php/mude/about>



Jurnal Multidisiplin Dehasen – Cover (2)

<https://jurnal.unived.ac.id/index.php/mude/about>



[Register](#) [Login](#)

E-ISSN: 2828-1799
Dikelola dan Diterbitkan Oleh
LPPJPHG Universitas Dehasen Bengkulu

[HOME](#) [ABOUT](#) [ISSUES](#) [PEOPLE](#) [ANNOUNCEMENTS](#) [CONTACT](#) [SEARCH](#)

HOME / ARCHIVES / Vol 5 No 2 (2026): April



DOI: <https://doi.org/10.37676/mude.v5i2>

PUBLISHED: 2026-02-04

FULL ISSUE

[COVER](#) [DAFTAR ISI](#)



TERAKREDITASI

ACCREDITATION
CERTIFICATE

Additional Menu

- [Focus and Scope](#)
- [Peer Reviewers](#)
- [Publication Frequency](#)
- [Peer Review Process](#)
- [Open Access Policy](#)

Jurnal Multidisiplin Dehasen – Dewan Editor (1)



JURNAL MULTI DISIPLIN DEHASEN (MUDE)

Register Login

E-ISSN: 2828-1799
Dikelola dan Diterbitkan Oleh
(PPJPHK) Universitas Dehasen Bengkulu

HOME ABOUT ISSUES PEOPLE ANNOUNCEMENTS CONTACT

SEARCH

HOME / Editorial Team

Editor in Chief

 **Dr. Karona Cahya Susena, S.E., M.M.**



 Universitas Dehasen Bengkulu, Bengkulu, Indonesia

Editor

 **Iswi Dana Utama Putra, S.E., M.M.**



 Universitas Dehasen Bengkulu, Bengkulu, Indonesia

 **Indra Kanedi, S.Kom., M.Kom.**





**ACCREDITATION
CERTIFICATE**

Additional Menu

- Focus and Scope
- Peer Reviewers
- Publication Frequency
- Peer Review Process
- Open Access Policy
- Publication Ethics
- Copyright & License

Jurnal Multidisiplin Dehasen – Dewan Editor (2)

 Universitas Dehasen Bengkulu, Bengkulu, Indonesia

 **Herawansyah, S.E., M.Ak.**



 Universitas Bengkulu, Bengkulu, Indonesia

 **Herlina Latipa Sari, S.Kom., M.Kom.**



 Universitas Bengkulu, Bengkulu, Indonesia

 **Azuwandri, S.E., M.Si.**



 Sekolah Tinggi Ilmu Administrasi Bengkulu, Bengkulu, Indonesia

 **Imelda Tamba, S.E., M.M.**



 STIE Bentara Persada, Batam, Indonesia

 **Siti Hanila, S.E., M.M.**



 Manuscript Preparation

 Articles Processing Charge

 Author Guidelines

 Indexing & Abstraction

 Plagiarism Policy

 Contact Us

Download



VISITOR

Jurnal Multidisiplin Dehas

 193,301	 162	 72
 6,643	 147	 64
 3,899	 140	 62
 1,030	 134	 60
 485	 127	 56
 248	 117	 49
 165	 90	 48



Volume 5 Nomor 2 April 2026

List Of Contents

Halaman

- Analisis Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Prediksi Kenaikan Tekanan Darah Pasien Hipertensi di Rsud Dr. Pirngadi Medan
Hafizurrahman, Muharni Saputri, Desy Nathalia Siahaan, Feny Hasanah 695-708
- Pengaruh Kompensasi dan Fasilitas Kerja terhadap Kepuasan Kerja Karyawan pada PT. Sucofindo (Persero) Cabang Bandar Lampung
Muhammad Taruna, Hendri Dunan 709-714
- Korelasi Kadar Interleukin-6 (IL-6) dan C-Reactive Protein (CRP) Sebelum dan Setelah Aktivitas Fisik pada Pria Umur 18-30
Karlina Mahardieni, Julian Chendrasari, Miladya Syamsu, John Steward Castellano Lelapari, Julia Aina Syafitri, Suriyani 715-722
- Identifikasi Mutu Bubur Instan Berbasis Tepung Pisang Jantan (Musa Acuminata Colla) Dan Tepung Ikan Selengek (Anodontostoma Chacunda)
Febry Dian Saputra, Hesti Nur'aini, Darius 723-732
- Penerapan Terapi Tiup Balon Untuk Mengurangi Sesak Nafas Pada Pasien Asma Melalui Aplikasi Teori Orem Di Rs Bhayangkara Bengkulu
Delvi Kembang Sari, Murwati 733-740
- Implementasi Pendidikan Guru Penggerak Sebagai Agen Perubahan ada SMP Negeri 1 Sekadau Hilir Kabupaten Sekadau
Sandri Hardiansah, Zulkarnaen, Erdi 741-748
- Hubungan Sanitasi Lingkungan Dengan Kejadian Diare Pada Balita Di Wilayah Kerja Puskesmas Sambirejo Rejang Lebong Tahun 2025
Sutarni, Sasteri Yulianti, Hengki Tranado 749-762
- Hubungan Status Gizi Dan Riwayat Imunisasi PCV Dengan Kejadian Pneumonia Pada Balita Di Rumah Sakit Dr. M. Yunus Kota Bengkulu Tahun 2025
Neni Suci Herpinta, Kintan Anissa, Bella Anarkie 763-776

Suriyani Tan

9352-Article Text-56903-1-10-20260414

Document Details

Submission ID

trn:oid::3618:137734536

Submission Date

May 5, 2026, 6:59 AM GMT+0

Download Date

May 5, 2026, 8:46 AM GMT+0

File Name

9352-Article Text-56903-1-10-20260414.pdf

File Size

232.0 KB

8 Pages

4,409 Words

26,733 Characters

0% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

Top Sources

- 0%  Internet sources
- 0%  Publications
- 0%  Submitted works (Student Papers)

Integrity Flags

0 Integrity Flags for Review

Our system's algorithms look deeply at a document for any inconsistencies that would set it apart from a normal submission. If we notice something strange, we flag it for you to review.

A Flag is not necessarily an indicator of a problem. However, we'd recommend you focus your attention there for further review.

Top Sources

- 0%  Internet sources
 - 0%  Publications
 - 0%  Submitted works (Student Papers)
-

Korelasi Kadar Interleukin-6 (IL-6) dan C-Reactive Protein (CRP) Sebelum dan Setelah Aktivitas Fisik pada Pria Umur 18-30

Karlina Mahardieni ¹⁾; Julian Chendrasari ²⁾; Miladya Syamsu ³⁾; John Steward Castellano Lelapari ⁴⁾; Julia Aina Syafitri ⁵⁾; Suriyani ⁶⁾

^{1,2,3,4,5,6)} Faculty of Medicine, Universitas Trisakti

Email: karlina.mahardieni@trisakti.ac.id

ARTICLE HISTORY

Received [15 Agustus 2025]

Revised [10 April 2026]

Accepted [14 April 2026]

KEYWORDS

Interleukin-6, C-Reactive Protein (Crp); Physical Activity, Duration, Intensity, Muscle Damage.

This is an open access article under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license



ABSTRAK

Penelitian ini mengkaji hubungan antara kadar Interleukin-6 (IL-6) dan C-Reactive Protein (CRP) sebelum dan sesudah aktivitas fisik naik turun tangga dengan intensitas sedang pada dewasa muda sehat. Sebanyak 27 subjek mengikuti intervensi latihan selama 5 menit dengan intensitas 60-80% denyut nadi maksimal. Kadar IL-6 dan CRP diukur menggunakan metode ELISA sebelum dan segera setelah latihan. Analisis korelasi Pearson menunjukkan bahwa korelasi antara IL-6 dan CRP sebelum latihan sangat rendah dan tidak signifikan ($r=-0,004$, $p = 0,986$). Setelah latihan, terdapat peningkatan korelasi positif ($r=0,277$) namun masih tidak signifikan secara statistik ($p = 0,180$). Hasil ini mengindikasikan bahwa aktivitas fisik dengan durasi dan intensitas tersebut tidak memicu respons inflamasi sistemik yang kuat, sehingga kadar IL-6 dan CRP tidak menunjukkan hubungan yang signifikan. Perbedaan waktu puncak pelepasan kedua biomarker dan adaptasi fisiologis individu kemungkinan memengaruhi hasil ini. Studi lanjutan dengan pengukuran biomarker pada waktu yang berbeda dan intensitas latihan yang bervariasi diperlukan untuk memahami lebih lanjut dinamika hubungan IL-6 dan CRP pasca-latihan. Temuan ini memberikan wawasan penting terkait respons inflamasi terhadap latihan moderat pada populasi muda sehat.

ABSTRACT

This study examined the relationship between Interleukin-6 (IL-6) and C-Reactive Protein (CRP) levels before and immediately after moderate-intensity stair climbing exercise in healthy young adults. Twenty-seven subjects performed a 5-minute stair climbing intervention at 60-80% of their maximum heart rate. IL-6 and CRP levels were measured using ELISA before and immediately after exercise. Pearson correlation analysis showed a very low and non-significant correlation between IL-6 and CRP before exercise ($r=-0.004$, $p = 0.986$). After exercise, there was an increase in positive correlation ($r=0.277$) but it remained statistically non-significant ($p = 0.180$). These results indicate that physical activity of this duration and intensity does not trigger a strong systemic inflammatory response, and thus IL-6 and CRP levels did not show a significant relationship. Differences in the peak timing of these biomarkers and individual physiological adaptations likely influenced these findings. Further studies with biomarker measurements at multiple time points and varying exercise intensities are needed to better understand the dynamics of IL-6 and CRP responses post-exercise. These findings provide important insight into inflammatory responses to moderate exercise in a healthy young population.

PENDAHULUAN

Aktivitas fisik melibatkan gerakan tubuh yang mengeluarkan energi dan berkontribusi pada kesehatan fisik dan mental, yang pada akhirnya meningkatkan kualitas hidup secara keseluruhan (Romadhoni et al., 2022). Menurut Survei Kesehatan Indonesia 2023, hanya 44,3% individu berusia ≥ 10 tahun di Jakarta yang melakukan aktivitas fisik secara teratur. Di antara berbagai kelompok usia, 50,4% individu berusia 15-19 tahun, 40% berusia 20-24 tahun, dan 31,8% berusia 25-29 tahun dikategorikan sebagai tidak aktif secara fisik. Aktivitas fisik diklasifikasikan menjadi intensitas ringan, sedang, dan kuat. Aktivitas fisik yang kuat berlangsung setidaknya 10 menit dan menyebabkan peningkatan denyut jantung dan pernapasan yang signifikan, seperti yang terlihat pada aktivitas seperti jogging dan bersepeda. Aktivitas fisik sedang meliputi tugas-tugas harian seperti menyapu atau mengepel, yang dilakukan setidaknya selama 150 menit per minggu. Jika durasi total di bawah ambang batas ini, aktivitas tersebut dikategorikan sebagai ringan (Chaeroni et al., 2021). Aktivitas fisik dapat menyebabkan kerusakan otot, yang memicu respons inflamasi. Peradangan ini

berlangsung melalui tiga tahap: fase awal yang ditandai dengan pelepasan faktor pro-inflamasi dan migrasi sel imun, fase resolusi yang bertransisi menuju respons anti-inflamasi, dan fase perbaikan jaringan yang melibatkan angiogenesis dan remodeling matriks ekstraseluler (Chazaud, 2016; Peake et al., 2017). C-Reactive Protein (CRP) merupakan protein fase akut yang diproduksi oleh hati sebagai respons terhadap inflamasi, dan sering digunakan sebagai biomarker yang sensitif terhadap peradangan. Produksi CRP diatur oleh interleukin-6 (IL-6), sitokin utama dalam proses peradangan (Pedersen, 2021). IL-6 sendiri adalah sitokin multifungsi yang memainkan peran penting dalam regulasi respons imun dan inflamasi serta terlibat dalam pertumbuhan sel. Selama latihan fisik intens, kadar IL-6 dapat meningkat secara signifikan, terutama pada latihan daya tahan (Steensberg et al., 2019). Penelitian ini telah menunjukkan bahwa IL-6 berperan sebagai biomarker penting dalam deteksi kerusakan otot akibat aktivitas fisik (Nieman&Wentz, 2019).

Aktivitas fisik, terutama latihan daya tahan, dapat meningkatkan stres oksidatif, yang ditandai dengan ketidakseimbangan antara pro-oksidan dan antioksidan, serta kerusakan oksidatif pada DNA dan komponen sel lainnya (Pedersen&Febbraio, 2019). IL-6 juga dapat berfungsi sebagai sitokin anti-inflamasi, dengan cara menghambat respons inflamasi yang berlebihan, terutama setelah latihan intens (Suzuki et al., 2020).

LANDASAN TEORI

Latihan Daya Tahan dan Respon Fisiologis pada Pria Usia 18-30 Tahun

Latihan daya tahan adalah aktivitas fisik yang bertujuan meningkatkan kemampuan tubuh untuk beraktivitas dalam waktu lama tanpa kelelahan berlebih dengan memanfaatkan energi dari jalur aerobik dan anaerobik (Jones et al., 2020). Latihan daya tahan kardiovaskular seperti berlari, bersepeda, dan berenang, mengandalkan metabolisme aerobik yang menggunakan oksigen, karbohidrat, dan lemak sebagai bahan bakar sehingga memungkinkan aktivitas berintensitas sedang hingga tinggi dalam durasi panjang. Latihan ini meningkatkan kapasitas jantung dan paru-paru, efisiensi penggunaan oksigen, volume darah, VO_2 max, serta kekuatan kontraksi jantung. Sementara itu, latihan anaerobik yang tidak mengandalkan oksigen untuk menghasilkan energi seperti angkat beban dan *sprint*, menghasilkan energi cepat namun hanya untuk waktu singkat (Pedersen & Febbraio, 2019; Morishima et al., 2020). Latihan ini membantu meningkatkan kekuatan, ketahanan, dan efisiensi serat otot meskipun membutuhkan waktu pemulihan otot yang lebih lama. Selain peningkatan kapasitas fisik, latihan daya tahan juga bermanfaat bagi kesehatan secara umum, termasuk menurunkan risiko penyakit kronis seperti diabetes tipe 2, penyakit jantung, hipertensi, dan obesitas, serta memiliki efek anti-inflamasi dan meningkatkan sensitivitas insulin (Nieman & Wentz, 2019; Libby et al., 2021).

Latihan daya tahan memberikan dampak fisiologis signifikan terutama pada pria usia 18–30 tahun yang merupakan fase puncak kapasitas fisik, hormonal, dan metabolik. Latihan ini memicu adaptasi pada sistem kardiovaskular, otot rangka, serta sistem endokrin dan imun, termasuk peningkatan VO_2 max yang mencerminkan efisiensi tubuh dalam mengonsumsi dan mendistribusikan oksigen ke otot saat aktivitas fisik (Jones et al., 2020). Adaptasi ini didukung oleh peningkatan volume stroke jantung dan efisiensi kerja jantung-paru. Selain itu, latihan daya tahan juga meningkatkan kapilarisasi otot, yang memperbaiki aliran darah dan suplai oksigen ke jaringan otot, memungkinkan tubuh bekerja lebih lama pada intensitas tinggi dan mengurangi ketergantungan pada sistem energi anaerobik (Morishima et al., 2020).

Mekanisme Kerusakan Otot

Latihan fisik intens dan repetitif seperti latihan daya tahan dapat menyebabkan kerusakan mikro pada serat otot, terutama di area ultrastruktur seperti Z-line, sarkomer, dan matriks ekstraseluler, yang dikenal sebagai exercise-induced muscle damage (EIMD) dan sering disertai nyeri otot tertunda (DOMS) dalam 24–48 jam (Baumert et al., 2016). Kerusakan ini terjadi akibat stres mekanis selama kontraksi, khususnya kontraksi eksentrik, yang memicu pelepasan enzim seperti

kreatin kinase (CK) dan laktat dehidrogenase (LDH) ke darah sebagai penanda kerusakan otot (Libby et al., 2021). Selain kerusakan mekanis, kontraksi otot juga meningkatkan produksi spesies oksigen reaktif (ROS) oleh mitokondria, yang meski berpotensi menyebabkan stres oksidatif dan peradangan melalui peningkatan sitokin proinflamasi seperti IL-6, juga berperan penting dalam adaptasi otot, termasuk peningkatan kapasitas antioksidan dan regenerasi serat otot (Stožer et al., 2020).

Interleukin-6 (IL-6)

Interleukin-6 (IL-6) adalah sitokin multifungsi yang berperan penting dalam proses inflamasi dan metabolisme selama dan setelah latihan fisik. IL-6 adalah salah satu sitokin pertama yang dilepaskan oleh otot selama latihan intens, terutama selama latihan daya tahan. IL-6 dilepaskan dari otot rangka ke dalam sirkulasi darah sebagai respons terhadap stres metabolik dan mekanik yang terjadi selama kontraksi otot yang berkepanjangan (Reihmane & Dela, 2014). Pelepasan IL-6 dari otot selama latihan ini dapat meningkatkan kadar IL-6 dalam darah hingga 100 kali lipat dibandingkan dengan kondisi istirahat, terutama pada latihan yang intensitasnya tinggi (Uciechowski & Dempke, 2020). Fungsi IL-6 tidak terbatas sebagai mediator inflamasi saja, tetapi juga berperan dalam mengatur metabolisme tubuh selama latihan. Salah satu fungsi utama IL-6 adalah meningkatkan lipolisis, yaitu pemecahan lemak menjadi asam lemak yang digunakan sebagai sumber energi selama latihan (Leuchtmann et al., 2022). IL-6 juga merangsang glukoneogenesis di hati, yaitu produksi glukosa dari sumber non-karbohidrat seperti lemak dan protein, yang membantu menjaga kadar glukosa darah selama latihan fisik yang panjang dan berat (Pimenta et al., 2012). Selain itu, IL-6 juga memiliki sifat anti-inflamasi, di mana sitokin ini mampu merangsang produksi IL-10, sebuah sitokin anti-inflamasi yang berfungsi untuk mengurangi peradangan dan menekan produksi TNF- α , sebuah sitokin pro-inflamasi (Jones et al., 2020). Peran IL-6 dalam mengatur inflamasi dan metabolisme membuatnya menjadi komponen penting dalam adaptasi tubuh terhadap latihan fisik intens, baik dalam jangka pendek maupun jangka panjang.

C-Reactive Protein (CRP)

C-Reactive Protein (CRP) adalah protein fase akut yang diproduksi oleh hati sebagai respons terhadap peningkatan IL-6 selama proses inflamasi akut. CRP dikenal sebagai biomarker penting dalam menilai derajat peradangan sistemik dalam tubuh. Ketika terjadi inflamasi akut atau kerusakan jaringan, IL-6 yang diproduksi oleh otot atau jaringan yang rusak merangsang hati untuk memproduksi CRP dalam jumlah besar, yang dapat menyebabkan peningkatan kadar CRP dalam darah hingga 1.000 kali lipat dari kondisi normal (Sproston&Ashworth, 2018). Peningkatan CRP menandakan adanya kerusakan jaringan yang signifikan atau infeksi, dan CRP bekerja dengan mengikat patogen atau sel yang rusak, sehingga memudahkan fagositosis oleh sistem kekebalan tubuh (Kamath et al., 2015). Latihan fisik intens, terutama latihan daya tahan, dapat menyebabkan peningkatan sementara kadar CRP, terutama jika latihan tersebut menyebabkan kerusakan otot yang signifikan (Sproston&Ashworth, 2018; Marnell et al., 2005). Namun, penelitian menunjukkan bahwa latihan fisik teratur dapat menurunkan kadar CRP istirahat secara signifikan. Hal ini disebabkan oleh efek anti-inflamasi dari latihan kronis yang memperbaiki fungsi endotel, menurunkan tekanan darah, dan mengurangi adipositas, yang pada akhirnya mengurangi peradangan sistemik (Sproston&Ashworth, 2018; Azam et al., 2019).

Penurunan kadar CRP pada individu yang aktif secara fisik juga berkaitan dengan peningkatan sensitivitas insulin, yang membantu menjaga keseimbangan metabolisme tubuh dan mengurangi risiko peradangan kronis (Azam et al., 2019). Oleh karena itu, CRP bukan hanya merupakan indikator inflamasi akut, tetapi juga dapat digunakan untuk memantau efek jangka panjang dari latihan fisik dalam mengurangi risiko penyakit inflamasi kronis.

Keterkaitan IL-6 dan CRP dalam Latihan Daya Tahan

Latihan daya tahan yang intens memicu pelepasan IL-6 dari otot rangka, yang kemudian merangsang produksi CRP oleh hati sebagai respons terhadap inflamasi akut. Peningkatan kadar IL-

6 dan CRP menunjukkan adanya peradangan sistemik yang terjadi sebagai akibat dari kerusakan otot dan respons imun tubuh terhadap latihan (Sproston&Ashworth, 2018; Nieman&Wentz, 2019). Hubungan antara IL-6 dan CRP telah banyak digunakan dalam studi klinis sebagai penanda inflamasi, terutama dalam konteks latihan fisik intens dan kerusakan otot. Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi korelasi antara IL-6 dan CRP pada pria usia 18-30 tahun yang menjalani latihan daya tahan. Pemahaman lebih mendalam mengenai keterkaitan kedua biomarker ini diharapkan dapat memberikan wawasan yang lebih luas mengenai mekanisme inflamasi yang terjadi selama dan setelah latihan fisik, serta bagaimana latihan fisik dapat dioptimalkan untuk mengurangi risiko inflamasi dan meningkatkan pemulihan otot (Sproston&Ashworth, 2018; Pedersen&Febbraio, 2019).

METODE PENELITIAN

Rancangan Penelitian dan Pemilihan Subjek

Rancangan penelitian yang digunakan adalah studi observasional analitik dengan pendekatan *pre* dan *post test*. Teknik pengambilan sampel yang digunakan adalah *Consecutive Non-Random Sampling*, yaitu pemilihan semua subjek yang memenuhi kriteria inklusi dan eksklusi dalam jangka waktu tertentu hingga jumlah sampel yang dibutuhkan tercapai. Sebanyak 27 sampel dikumpulkan untuk penelitian ini. Sebelum berpartisipasi, semua calon subjek diberikan penjelasan komprehensif tentang tujuan dan manfaat penelitian, diikuti dengan pemberian persetujuan (*informed consent*). Subjek direkrut berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi pada tabel 1.

Tabel 1. Kriteria Inklusi dan Eksklusi Subjek

No	Kriteria Inklusi	Kriteria Eksklusi
1	Laki-laki	Mengonsumsi alkohol
2	Usia 18-30 tahun	Menerima vaksinasi intramuskular dalam waktu 12 jam sebelum penelitian
3	Bersedia menjadi subjek penelitian	Konsumsi obat-obatan tertentu (kortikosteroid, antibiotik, gol. Statin, anti depresan).
4	Jarang berolahraga	

Prosedur Intervensi dan Analisis Sampel Darah

Penilaian kebugaran awal dilakukan menggunakan Tes Langkah YMCA (*Young Men's Christian Association*), yaitu naik turun platform setinggi 30 cm dengan ritme tetap 96 denyut per menit selama tiga menit. Tes dilakukan dalam kondisi terkendali dengan peralatan yang diperlukan, termasuk stopwatch, metronom, dan oksimeter denyut untuk mengukur denyut jantung. Segera setelah tes, denyut jantung dicatat menggunakan oksimeter, dan subjek dibiarkan beristirahat selama lima menit. Berdasarkan hasil, subjek diklasifikasikan berdasarkan kriteria Harvard Step Test, dengan individu yang dikategorikan memiliki tingkat kebugaran "baik" atau "sangat baik" dikeluarkan, sementara mereka yang diklasifikasikan sebagai "buruk" hingga "rata-rata" diikutsertakan dalam penelitian.

Sebelum intervensi, sampel darah dikumpulkan dari semua subjek. Peserta kemudian diinstruksikan untuk melakukan latihan menaiki tangga selama lima menit, dengan target 60–80% dari detak jantung maksimum mereka. Jika target detak jantung tidak tercapai, durasi latihan diperpanjang 1–2 menit hingga intensitas yang diinginkan tercapai. Segera setelah intervensi selesai, sampel darah kedua diambil. Sampel darah diproses dengan sentrifugasi pada kecepatan $3.000 \times g$ selama 10 menit untuk memisahkan plasma dan serum selanjutnya disimpan pada suhu -80°C untuk analisis lebih lanjut.

Pengukuran Kadar IL-6 dan CRP Menggunakan ELISA

Konsentrasi IL-6 dan CRP diukur menggunakan *Enzyme-Linked Immunosorbent Assay* (ELISA) mengikuti protokol standar yang dilakukan di suhu ruangan (20–25°C). Strip plat mikro yang tidak terpakai dipisah dan disimpan dalam desikator vakum untuk mencegah paparan uap air. Sebanyak 100 µL sampel ditambahkan ke setiap sumur, kemudian plat diinkubasi pada suhu 37°C selama 90 menit. Sumur kemudian dicuci dua kali dengan 300 µL *wash buffer*. Selanjutnya, 100 µL larutan antibodi IL-6 ditambahkan dan plat diinkubasi selama 60 menit pada suhu 37°C. Setelah itu, larutan diaspirasi dan plat dicuci tiga kali dengan 300 µL *wash buffer*. Selanjutnya, 100 µL reagen *streptavidin-biotin complex* (SABC) ditambahkan ke setiap sumur, diinkubasi selama 30 menit pada suhu 37°C, lalu dibuang. Sumur kembali diaspirasi dan dicuci lima kali. Kemudian, 90 µL reagen substrat tetrametilbenzidin (TMB) ditambahkan dan diinkubasi secara statis selama 10–20 menit pada suhu 37°C. Reaksi dihentikan dengan menambahkan 50 µL *stop solution* ke setiap sumur, yang menyebabkan perubahan warna dari biru menjadi kuning. Absorbansi diukur menggunakan pembaca pelat mikro pada panjang gelombang 450 nm.

Analisis Data

Data absorbansi dibuat menjadi kurva standar menggunakan GraphPad Prism. Uji Wilcoxon dilakukan karena data menunjukkan distribusi non-normal berdasarkan uji Shapiro-Wilk. Tingkat signifikansi 95% digunakan untuk menilai hubungan statistik, dengan nilai $p > 0,05$ menunjukkan hubungan non-signifikan. Untuk menganalisa korelasi, uji korelasi Pearson digunakan.

Pertimbangan Etis

Penelitian ini telah disetujui dan dinyatakan layak secara etis oleh Komite Etik Fakultas Kedokteran Universitas Trisakti, dengan nomor persetujuan etik 010/KER/FK/02/2025. Persetujuan partisipan untuk berpartisipasi dalam penelitian ini diperoleh melalui penandatanganan formulir persetujuan tindakan medis (informed consent).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Data Demografi Spesimen

Sebanyak 27 dengan total sampel darah sebanyak 54 sampel. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa 18 subjek (66,67%) termasuk dalam kelompok usia 18-20 tahun, sedangkan 9 subjek (33,33%) berada pada rentang 21-25 tahun. Tidak ada subjek yang didapatkan dalam kelompok umur 26-30 tahun (tabel 1).

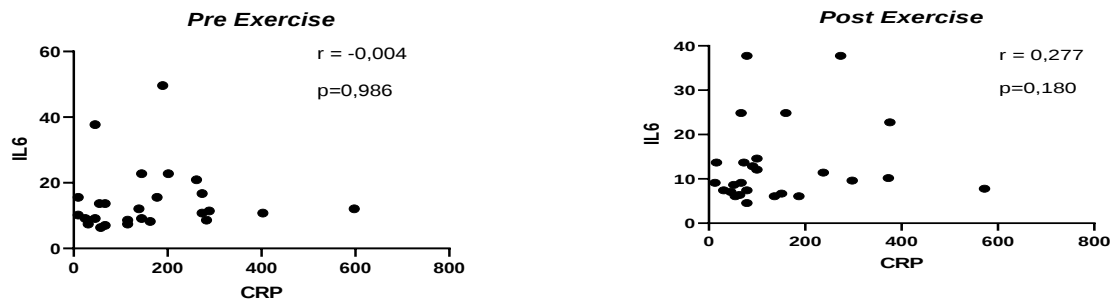
Tabel 1. Data Demografis

Kelompok Umur (Usia)	n	Persentase (%)
18-20	18	66,67
21-25	9	33,33

Korelasi Kadar IL6 dan CRP Sebelum dan Segera Sesudah Intervensi

Analisis korelasi antara kadar Interleukin-6 (IL-6) dan C-Reactive Protein (CRP) sebelum dan sesudah aktivitas fisik naik turun tangga ditampilkan pada Gambar 1. Pada kondisi pra-latihan (Pre Exercise), nilai korelasi Pearson antara IL-6 dan CRP adalah $r = -0,004$ dengan nilai $p = 0,986$, menunjukkan tidak adanya hubungan yang signifikan antara kedua biomarker inflamasi tersebut sebelum aktivitas fisik. Data ini mengindikasikan bahwa pada kondisi basal, variasi kadar IL-6 tidak berhubungan dengan variasi kadar CRP di dalam darah subjek penelitian. Setelah aktivitas fisik (Post Exercise), nilai korelasi meningkat menjadi $r = 0,277$ dengan nilai $p = 0,180$, yang walaupun menunjukkan kecenderungan hubungan positif, tetap tidak signifikan secara statistik. Hal ini

menunjukkan bahwa meskipun terdapat kecenderungan peningkatan hubungan antara IL-6 dan CRP setelah latihan, hubungan tersebut belum cukup kuat untuk dianggap signifikan pada sampel ini.



Gambar 1. Korelasi antara kadar IL6 dan CRP sebelum dan sesudah latihan fisik.

Pembahasan

Penelitian ini menemukan bahwa tidak terdapat korelasi yang signifikan antara kadar IL-6 dan CRP baik sebelum maupun segera setelah aktivitas fisik naik turun tangga dengan intensitas sedang. IL-6 merupakan sitokin multifungsi yang berperan sebagai mediator inflamasi dan anti-inflamasi, dilepaskan secara cepat oleh otot rangka sebagai respons terhadap kontraksi otot dan stres metabolik selama latihan (Suzuki, 2018). Sebaliknya, CRP adalah protein fase akut yang dihasilkan oleh hati sebagai respons terhadap sitokin pro-inflamasi seperti IL-6, dan berfungsi sebagai indikator inflamasi sistemik (Sivakumar et al., 2025).

Ketiadaan korelasi signifikan pada kondisi pra-latihan mengindikasikan bahwa dalam keadaan istirahat, kadar IL-6 dan CRP tidak saling terkait secara langsung pada individu sehat. Ini konsisten dengan literatur yang menyatakan bahwa kadar basal IL-6 dan CRP dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti status metabolik, berat badan, dan kondisi inflamasi kronis, yang mungkin tidak saling berkaitan secara langsung (Suzuki, 2018).

Setelah latihan, meskipun terdapat peningkatan korelasi positif antara IL-6 dan CRP, nilai tersebut tidak mencapai signifikansi statistik. Hal ini dapat dijelaskan oleh beberapa faktor. Pertama, aktivitas naik turun tangga selama 5 menit dengan intensitas sedang mungkin tidak cukup memberikan stimulus inflamasi yang kuat untuk memicu respons sistemik yang signifikan (Sivakumar et al., 2025). Kedua, kinetika pelepasan IL-6 dan CRP berbeda; IL-6 dapat meningkat pesat selama dan segera setelah latihan, sedangkan CRP mencapai puncaknya beberapa jam hingga hari setelah stimulus inflamasi (Chen et al., 2021; Wang et al., 2020). Oleh karena itu, pengambilan sampel darah segera setelah latihan mungkin belum menangkap puncak respons CRP yang sesungguhnya.

Selain itu, adaptasi fisiologis pada individu yang sudah terbiasa berolahraga juga dapat mengurangi respons inflamasi terhadap latihan, sehingga hubungan antara IL-6 dan CRP menjadi lebih lemah (Peake et al., 2015). Studi oleh Peake et al. (2017) menegaskan bahwa respons inflamasi terhadap latihan sangat bergantung pada intensitas, durasi, dan status kebugaran individu (Peake et al., 2017). Latihan dengan intensitas lebih tinggi dan durasi lebih lama cenderung menghasilkan respons inflamasi yang lebih jelas dan korelasi yang lebih kuat antara IL-6 dan CRP (Peake et al., 2015).

Penelitian ini juga menggarisbawahi pentingnya waktu pengukuran biomarker inflamasi dalam studi latihan fisik. Pengukuran pada beberapa waktu pasca-latihan (misalnya 6, 24, dan 48 jam) diperlukan untuk mengamati dinamika pelepasan IL-6 dan CRP secara lebih komprehensif (Čížková et al., 2020). Selain itu, penelitian dengan sampel yang lebih besar dan desain longitudinal dapat memberikan gambaran yang lebih akurat mengenai hubungan antara biomarker inflamasi ini.

Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa tidak terdapat korelasi yang signifikan antara kadar Interleukin-6 (IL-6) dan C-Reactive Protein (CRP) baik sebelum maupun segera setelah aktivitas fisik naik turun tangga dengan intensitas sedang. Meskipun terdapat kecenderungan peningkatan hubungan positif antara IL-6 dan CRP setelah latihan, hubungan tersebut belum signifikan secara statistik. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh durasi dan intensitas latihan yang relatif ringan, serta perbedaan waktu puncak pelepasan kedua biomarker inflamasi tersebut. Oleh karena itu, aktivitas fisik dengan karakteristik tersebut tidak memicu respons inflamasi sistemik yang kuat pada populasi dewasa muda yang sehat.

Saran

Penelitian lanjutan dengan pengukuran biomarker pada waktu pasca-latihan yang berbeda dan dengan intensitas latihan yang bervariasi diperlukan untuk memahami lebih lanjut dinamika hubungan antara IL-6 dan CRP.

DAFTAR PUSTAKA

- Azam, M., Lestari, S., Rahayu, S. R., et al. Baseline and post-exercise high-sensitivity C-reactive protein levels in endurance cyclists: The Indonesian North Coast and Tour De Borobudur 2017 study. *Indonesian Biomedical Journal*. 2019;11(1):91–99. <https://doi.org/10.18585/inabj.v11i1.560>
- Baumert, P., Lake, M. J., Stewart, C. E., & Drust, B. Genetic variation and exercise-induced muscle damage: Implications for athletic performance, injury and ageing. *European Journal of Applied Physiology*. 2016;116:1595–1625. <https://doi.org/10.1007/s00421-016-3411-1>
- Chaeroni, A., Ma'mun, A., & Budiana, D. Aktivitas fisik: Apakah memberikan dampak bagi kebugaran jasmani dan kesehatan mental? *Sporta Saintika*. 2021;6(1):54–62. <https://doi.org/10.24036/sporta.v6i1.163>
- Chazaud, B. Inflammation during skeletal muscle regeneration and tissue remodeling: Application to exercise-induced muscle damage management. *Immunology and Cell Biology*. 2016;94:140–145. <https://doi.org/10.1038/icb.2015.97>
- Chen, D. Y., Sawamura, T., Dixon, R. A. F., Sánchez-Quesada, J. L., & Chen, C. H. Autoimmune Rheumatic Diseases: An Update on the Role of Atherogenic Electronegative LDL and Potential Therapeutic Strategies. *Journal of Clinical Medicine*. 2021;10(9):1992. <https://doi.org/10.3390/jcm10091992>
- Čížková, T., Štěpán, M., Daňová, K., Ondrůjová, B., Sontáková, L., Krauzová, E., Matouš, M., Koc, M., Gojda, J., Kračmerová, J., Štich, V., Rossmeislová, L., & Šiklová, M. Exercise Training Reduces Inflammation of Adipose Tissue in the Elderly: Cross-Sectional and Randomized Interventional Trial. *The Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*. 2020;105(12). <https://doi.org/10.1210/clinem/dgaa630>
- Jones, A. M., Vanhatalo, A., & Burnley, M. Physiological demands of endurance exercise. *Comprehensive Physiology*. 2020;10(4):1491–1541. <https://doi.org/10.1002/9781444303315.ch3>
- Kamath, D. Y., Xavier, D., Sigamani, A., et al. High-sensitivity C-reactive protein (hsCRP) & cardiovascular disease: An Indian perspective. *Indian Journal of Medical Research*. 2015;142:261–268. <https://doi.org/10.4103/0971-5916.166582>
- Leuchtmann, A. B., Furrer, R., Steurer, S. A., et al. Interleukin-6 potentiates endurance training adaptation and improves functional capacity in old mice. *Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle*. 2022;13(2):1164–1176. <https://doi.org/10.1002/jcsm.12949>
- Libby, P., Ridker, P. M., & Hansson, G. K. Progress and challenges in translating the biology of atherosclerosis. *Nature*. 2021;473(7347):317–325. <https://doi.org/10.1038/nature10146>

- Marnell, L., Mold, C., & Du Clos, T. W. C-reactive protein: Ligands, receptors, and role in inflammation. *Clinical Immunology*. 2005;117:104–111. <https://doi.org/10.1016/j.clim.2005.08.004>
- Morishima, T., Kurihara, T., & Iwasaki, K. I. Endurance training activates skeletal muscle peroxisome proliferator-activated receptor- γ coactivator-1 α , mitochondrial biogenesis, and angiogenesis in healthy middle-aged adults. *Journal of Physiology*. 2020;598(5):1213–1224.
- Nieman, D. C., & Wentz, L. M. The compelling link between physical activity and the body's defense system. *Journal of Sport and Health Science*. 2019;8(3):201–217. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2018.09.009>
- Peake, J. M., Della Gatta, P. A., Suzuki, K., & Nieman, D. C. Cytokine expression and secretion by skeletal muscle cells: regulatory mechanisms and exercise effects. *Exercise Immunology Review*. 2015;21:8–25.
- Peake, J. M., Neubauer, O., Della Gatta, P. A., & Nosaka, K. Muscle damage and inflammation during recovery from exercise. *Journal of Applied Physiology*. 2017;122(3):559–570. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00971.2016>
- Pedersen, B. K. Muscles and their myokines. *Journal of Experimental Biology*. 2021;224(Suppl 1). <https://doi.org/10.1242/jeb.242229>
- Pedersen, B. K., & Febbraio, M. A. Muscles, exercise and obesity: Skeletal muscle as a secretory organ. *Nature Reviews Endocrinology*. 2019;8(8):457–465. <https://doi.org/10.1038/nrendo.2012.49>
- Pimenta, E. M., Coelho, D. B., Cruz, I. R., et al. The ACTN3 genotype in soccer players in response to acute eccentric training. *European Journal of Applied Physiology*. 2012;112:1495–1503. <https://doi.org/10.1007/s00421-011-2109-7>
- Reihmane, D., & Dela, F. Interleukin-6: Possible biological roles during exercise. *European Journal of Sport Science*. 2014;14(3):242–250. <http://dx.doi.org/10.1080/17461391.2013.776640>
- Romadhoni, W. N., Nasuka, N., & Candra, A. R. D. Aktivitas fisik mahasiswa pendidikan kepelatihan olahraga selama pandemi COVID-19. *Gelanggang Olahraga: Jurnal Pendidikan Jasmani dan Olahraga (PJO)*. 2022;5(2):200–207. <https://doi.org/10.31539/pjo.v5i2.3470>
- Sivakumar, S., Makhija, I., Bhagat, R., Maurya, S., Chatterjee, N. S., Bansal, S., & Chandra, N. Ethnicity-based variations in biological reference interval- A systematic scoping review. *Clinica Chimica Acta*. 2025;578:120539. <https://doi.org/10.1016/j.cca.2025.120539>
- Sproston, N. R., & Ashworth, J. J. Role of C-reactive protein at sites of inflammation and infection. *Frontiers in Immunology*. 2018;9:754. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2018.00754>
- Steensberg, A., van Hall, G., Osada, T., Sacchetti, M., Saltin, B., & Pedersen, B. K. Production of interleukin-6 in contracting human skeletal muscles can account for the exercise-induced increase in plasma interleukin-6. *Journal of Physiology*. 2019;529(1):237–242. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7793.2000.00237.x>
- Stožer, A., Vodopivec, P., & Bombek, L. K. Pathophysiology of exercise-induced muscle damage and its structural, functional, metabolic, and clinical consequences. *Physiological Research*. 2020;69:565–598. <https://doi.org/10.33549/physiolres.934371>
- Suzuki, K. Cytokine response to exercise and its modulation. *Antioxidants (Basel)*. 2018;7(1):17. <https://doi.org/10.3390/antiox7010017>
- Suzuki, K., Tominaga, T., Ruhee, R. T., & Ma, S. The acute response of the immune, endocrine, and metabolic systems to exercise: A review of the influence of cytokines. *Journal of Biomedical Science*. 2020;27(1):13.
- Uciechowski, P., & Dempke, W. Interleukin-6: A master player in the cytokine network. *Oncology*. 2020;98(3):131–137. <https://doi.org/10.1159/000505099>
- Wang, J., Liu, S., Li, G., & Xiao, J. Exercise Regulates the Immune System. *Advances in Experimental Medicine and Biology*. 2020;1228:395–408. https://doi.org/10.1007/978-981-15-1792-1_27

Korelasi Kadar Interleukin-6 (IL-6) dan C-Reactive Protein (CRP) Sebelum dan Setelah Aktivitas Fisik pada Pria Umur 18-30

Karlina Mahardieni ¹⁾; Julian Chendrasari ²⁾; Miladya Syamsu ³⁾; John Steward Castellano Lelapari ⁴⁾; Julia Aina Syafitri ⁵⁾; Suriyani ⁶⁾

^{1,2,3,4,5,6)} Faculty of Medicine, Universitas Trisakti

Email: karlina.mahardieni@trisakti.ac.id

ARTICLE HISTORY

Received [15 Agustus 2025]

Revised [10 April 2026]

Accepted [14 April 2026]

KEYWORDS

Interleukin-6, C-Reactive Protein (Crp); Physical Activity, Duration, Intensity, Muscle Damage.

This is an open access article under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license



ABSTRAK

Penelitian ini mengkaji hubungan antara kadar Interleukin-6 (IL-6) dan C-Reactive Protein (CRP) sebelum dan sesudah aktivitas fisik naik turun tangga dengan intensitas sedang pada dewasa muda sehat. Sebanyak 27 subjek mengikuti intervensi latihan selama 5 menit dengan intensitas 60-80% denyut nadi maksimal. Kadar IL-6 dan CRP diukur menggunakan metode ELISA sebelum dan segera setelah latihan. Analisis korelasi Pearson menunjukkan bahwa korelasi antara IL-6 dan CRP sebelum latihan sangat rendah dan tidak signifikan ($r=-0,004$, $p = 0,986$). Setelah latihan, terdapat peningkatan korelasi positif ($r=0,277$) namun masih tidak signifikan secara statistik ($p = 0,180$). Hasil ini mengindikasikan bahwa aktivitas fisik dengan durasi dan intensitas tersebut tidak memicu respons inflamasi sistemik yang kuat, sehingga kadar IL-6 dan CRP tidak menunjukkan hubungan yang signifikan. Perbedaan waktu puncak pelepasan kedua biomarker dan adaptasi fisiologis individu kemungkinan memengaruhi hasil ini. Studi lanjutan dengan pengukuran biomarker pada waktu yang berbeda dan intensitas latihan yang bervariasi diperlukan untuk memahami lebih lanjut dinamika hubungan IL-6 dan CRP pasca-latihan. Temuan ini memberikan wawasan penting terkait respons inflamasi terhadap latihan moderat pada populasi muda sehat.

ABSTRACT

This study examined the relationship between Interleukin-6 (IL-6) and C-Reactive Protein (CRP) levels before and immediately after moderate-intensity stair climbing exercise in healthy young adults. Twenty-seven subjects performed a 5-minute stair climbing intervention at 60-80% of their maximum heart rate. IL-6 and CRP levels were measured using ELISA before and immediately after exercise. Pearson correlation analysis showed a very low and non-significant correlation between IL-6 and CRP before exercise ($r=-0.004$, $p = 0.986$). After exercise, there was an increase in positive correlation ($r=0.277$) but it remained statistically non-significant ($p = 0.180$). These results indicate that physical activity of this duration and intensity does not trigger a strong systemic inflammatory response, and thus IL-6 and CRP levels did not show a significant relationship. Differences in the peak timing of these biomarkers and individual physiological adaptations likely influenced these findings. Further studies with biomarker measurements at multiple time points and varying exercise intensities are needed to better understand the dynamics of IL-6 and CRP responses post-exercise. These findings provide important insight into inflammatory responses to moderate exercise in a healthy young population.

PENDAHULUAN

Aktivitas fisik melibatkan gerakan tubuh yang mengeluarkan energi dan berkontribusi pada kesehatan fisik dan mental, yang pada akhirnya meningkatkan kualitas hidup secara keseluruhan (Romadhoni et al., 2022). Menurut Survei Kesehatan Indonesia 2023, hanya 44,3% individu berusia ≥ 10 tahun di Jakarta yang melakukan aktivitas fisik secara teratur. Di antara berbagai kelompok usia, 50,4% individu berusia 15-19 tahun, 40% berusia 20-24 tahun, dan 31,8% berusia 25-29 tahun dikategorikan sebagai tidak aktif secara fisik. Aktivitas fisik diklasifikasikan menjadi intensitas ringan, sedang, dan kuat. Aktivitas fisik yang kuat berlangsung setidaknya 10 menit dan menyebabkan peningkatan denyut jantung dan pernapasan yang signifikan, seperti yang terlihat pada aktivitas seperti jogging dan bersepeda. Aktivitas fisik sedang meliputi tugas-tugas harian seperti menyapu atau mengepel, yang dilakukan setidaknya selama 150 menit per minggu. Jika durasi total di bawah ambang batas ini, aktivitas tersebut dikategorikan sebagai ringan (Chaeroni et al., 2021). Aktivitas fisik dapat menyebabkan kerusakan otot, yang memicu respons inflamasi. Peradangan ini

berlangsung melalui tiga tahap: fase awal yang ditandai dengan pelepasan faktor pro-inflamasi dan migrasi sel imun, fase resolusi yang bertransisi menuju respons anti-inflamasi, dan fase perbaikan jaringan yang melibatkan angiogenesis dan remodeling matriks ekstraseluler (Chazaud, 2016; Peake et al., 2017). C-Reactive Protein (CRP) merupakan protein fase akut yang diproduksi oleh hati sebagai respons terhadap inflamasi, dan sering digunakan sebagai biomarker yang sensitif terhadap peradangan. Produksi CRP diatur oleh interleukin-6 (IL-6), sitokin utama dalam proses peradangan (Pedersen, 2021). IL-6 sendiri adalah sitokin multifungsi yang memainkan peran penting dalam regulasi respons imun dan inflamasi serta terlibat dalam pertumbuhan sel. Selama latihan fisik intens, kadar IL-6 dapat meningkat secara signifikan, terutama pada latihan daya tahan (Steensberg et al., 2019). Penelitian ini telah menunjukkan bahwa IL-6 berperan sebagai biomarker penting dalam deteksi kerusakan otot akibat aktivitas fisik (Nieman&Wentz, 2019).

Aktivitas fisik, terutama latihan daya tahan, dapat meningkatkan stres oksidatif, yang ditandai dengan ketidakseimbangan antara pro-oksidan dan antioksidan, serta kerusakan oksidatif pada DNA dan komponen sel lainnya (Pedersen&Febbraio, 2019). IL-6 juga dapat berfungsi sebagai sitokin anti-inflamasi, dengan cara menghambat respons inflamasi yang berlebihan, terutama setelah latihan intens (Suzuki et al., 2020).

LANDASAN TEORI

Latihan Daya Tahan dan Respon Fisiologis pada Pria Usia 18-30 Tahun

Latihan daya tahan adalah aktivitas fisik yang bertujuan meningkatkan kemampuan tubuh untuk beraktivitas dalam waktu lama tanpa kelelahan berlebih dengan memanfaatkan energi dari jalur aerobik dan anaerobik (Jones et al., 2020). Latihan daya tahan kardiovaskular seperti berlari, bersepeda, dan berenang, mengandalkan metabolisme aerobik yang menggunakan oksigen, karbohidrat, dan lemak sebagai bahan bakar sehingga memungkinkan aktivitas berintensitas sedang hingga tinggi dalam durasi panjang. Latihan ini meningkatkan kapasitas jantung dan paru-paru, efisiensi penggunaan oksigen, volume darah, VO_2 max, serta kekuatan kontraksi jantung. Sementara itu, latihan anaerobik yang tidak mengandalkan oksigen untuk menghasilkan energi seperti angkat beban dan *sprint*, menghasilkan energi cepat namun hanya untuk waktu singkat (Pedersen & Febbraio, 2019; Morishima et al., 2020). Latihan ini membantu meningkatkan kekuatan, ketahanan, dan efisiensi serat otot meskipun membutuhkan waktu pemulihan otot yang lebih lama. Selain peningkatan kapasitas fisik, latihan daya tahan juga bermanfaat bagi kesehatan secara umum, termasuk menurunkan risiko penyakit kronis seperti diabetes tipe 2, penyakit jantung, hipertensi, dan obesitas, serta memiliki efek anti-inflamasi dan meningkatkan sensitivitas insulin (Nieman & Wentz, 2019; Libby et al., 2021).

Latihan daya tahan memberikan dampak fisiologis signifikan terutama pada pria usia 18–30 tahun yang merupakan fase puncak kapasitas fisik, hormonal, dan metabolik. Latihan ini memicu adaptasi pada sistem kardiovaskular, otot rangka, serta sistem endokrin dan imun, termasuk peningkatan VO_2 max yang mencerminkan efisiensi tubuh dalam mengonsumsi dan mendistribusikan oksigen ke otot saat aktivitas fisik (Jones et al., 2020). Adaptasi ini didukung oleh peningkatan volume stroke jantung dan efisiensi kerja jantung-paru. Selain itu, latihan daya tahan juga meningkatkan kapilarisasi otot, yang memperbaiki aliran darah dan suplai oksigen ke jaringan otot, memungkinkan tubuh bekerja lebih lama pada intensitas tinggi dan mengurangi ketergantungan pada sistem energi anaerobik (Morishima et al., 2020).

Mekanisme Kerusakan Otot

Latihan fisik intens dan repetitif seperti latihan daya tahan dapat menyebabkan kerusakan mikro pada serat otot, terutama di area ultrastruktur seperti Z-line, sarkomer, dan matriks ekstraseluler, yang dikenal sebagai exercise-induced muscle damage (EIMD) dan sering disertai nyeri otot tertunda (DOMS) dalam 24–48 jam (Baumert et al., 2016). Kerusakan ini terjadi akibat stres mekanis selama kontraksi, khususnya kontraksi eksentrik, yang memicu pelepasan enzim seperti

kreatin kinase (CK) dan laktat dehidrogenase (LDH) ke darah sebagai penanda kerusakan otot (Libby et al., 2021). Selain kerusakan mekanis, kontraksi otot juga meningkatkan produksi spesies oksigen reaktif (ROS) oleh mitokondria, yang meski berpotensi menyebabkan stres oksidatif dan peradangan melalui peningkatan sitokin proinflamasi seperti IL-6, juga berperan penting dalam adaptasi otot, termasuk peningkatan kapasitas antioksidan dan regenerasi serat otot (Stožer et al., 2020).

Interleukin-6 (IL-6)

Interleukin-6 (IL-6) adalah sitokin multifungsi yang berperan penting dalam proses inflamasi dan metabolisme selama dan setelah latihan fisik. IL-6 adalah salah satu sitokin pertama yang dilepaskan oleh otot selama latihan intens, terutama selama latihan daya tahan. IL-6 dilepaskan dari otot rangka ke dalam sirkulasi darah sebagai respons terhadap stres metabolik dan mekanik yang terjadi selama kontraksi otot yang berkepanjangan (Reihmane & Dela, 2014). Pelepasan IL-6 dari otot selama latihan ini dapat meningkatkan kadar IL-6 dalam darah hingga 100 kali lipat dibandingkan dengan kondisi istirahat, terutama pada latihan yang intensitasnya tinggi (Uciechowski & Dempke, 2020). Fungsi IL-6 tidak terbatas sebagai mediator inflamasi saja, tetapi juga berperan dalam mengatur metabolisme tubuh selama latihan. Salah satu fungsi utama IL-6 adalah meningkatkan lipolisis, yaitu pemecahan lemak menjadi asam lemak yang digunakan sebagai sumber energi selama latihan (Leuchtmann et al., 2022). IL-6 juga merangsang glukoneogenesis di hati, yaitu produksi glukosa dari sumber non-karbohidrat seperti lemak dan protein, yang membantu menjaga kadar glukosa darah selama latihan fisik yang panjang dan berat (Pimenta et al., 2012). Selain itu, IL-6 juga memiliki sifat anti-inflamasi, di mana sitokin ini mampu merangsang produksi IL-10, sebuah sitokin anti-inflamasi yang berfungsi untuk mengurangi peradangan dan menekan produksi TNF- α , sebuah sitokin pro-inflamasi (Jones et al., 2020). Peran IL-6 dalam mengatur inflamasi dan metabolisme membuatnya menjadi komponen penting dalam adaptasi tubuh terhadap latihan fisik intens, baik dalam jangka pendek maupun jangka panjang.

C-Reactive Protein (CRP)

C-Reactive Protein (CRP) adalah protein fase akut yang diproduksi oleh hati sebagai respons terhadap peningkatan IL-6 selama proses inflamasi akut. CRP dikenal sebagai biomarker penting dalam menilai derajat peradangan sistemik dalam tubuh. Ketika terjadi inflamasi akut atau kerusakan jaringan, IL-6 yang diproduksi oleh otot atau jaringan yang rusak merangsang hati untuk memproduksi CRP dalam jumlah besar, yang dapat menyebabkan peningkatan kadar CRP dalam darah hingga 1.000 kali lipat dari kondisi normal (Sproston&Ashworth, 2018). Peningkatan CRP menandakan adanya kerusakan jaringan yang signifikan atau infeksi, dan CRP bekerja dengan mengikat patogen atau sel yang rusak, sehingga memudahkan fagositosis oleh sistem kekebalan tubuh (Kamath et al., 2015). Latihan fisik intens, terutama latihan daya tahan, dapat menyebabkan peningkatan sementara kadar CRP, terutama jika latihan tersebut menyebabkan kerusakan otot yang signifikan (Sproston&Ashworth, 2018; Marnell et al., 2005). Namun, penelitian menunjukkan bahwa latihan fisik teratur dapat menurunkan kadar CRP istirahat secara signifikan. Hal ini disebabkan oleh efek anti-inflamasi dari latihan kronis yang memperbaiki fungsi endotel, menurunkan tekanan darah, dan mengurangi adipositas, yang pada akhirnya mengurangi peradangan sistemik (Sproston&Ashworth, 2018; Azam et al., 2019).

Penurunan kadar CRP pada individu yang aktif secara fisik juga berkaitan dengan peningkatan sensitivitas insulin, yang membantu menjaga keseimbangan metabolisme tubuh dan mengurangi risiko peradangan kronis (Azam et al., 2019). Oleh karena itu, CRP bukan hanya merupakan indikator inflamasi akut, tetapi juga dapat digunakan untuk memantau efek jangka panjang dari latihan fisik dalam mengurangi risiko penyakit inflamasi kronis.

Keterkaitan IL-6 dan CRP dalam Latihan Daya Tahan

Latihan daya tahan yang intens memicu pelepasan IL-6 dari otot rangka, yang kemudian merangsang produksi CRP oleh hati sebagai respons terhadap inflamasi akut. Peningkatan kadar IL-

6 dan CRP menunjukkan adanya peradangan sistemik yang terjadi sebagai akibat dari kerusakan otot dan respons imun tubuh terhadap latihan (Sproston&Ashworth, 2018; Nieman&Wentz, 2019). Hubungan antara IL-6 dan CRP telah banyak digunakan dalam studi klinis sebagai penanda inflamasi, terutama dalam konteks latihan fisik intens dan kerusakan otot. Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi korelasi antara IL-6 dan CRP pada pria usia 18-30 tahun yang menjalani latihan daya tahan. Pemahaman lebih mendalam mengenai keterkaitan kedua biomarker ini diharapkan dapat memberikan wawasan yang lebih luas mengenai mekanisme inflamasi yang terjadi selama dan setelah latihan fisik, serta bagaimana latihan fisik dapat dioptimalkan untuk mengurangi risiko inflamasi dan meningkatkan pemulihan otot (Sproston&Ashworth, 2018; Pedersen&Febbraio, 2019).

METODE PENELITIAN

Rancangan Penelitian dan Pemilihan Subjek

Rancangan penelitian yang digunakan adalah studi observasional analitik dengan pendekatan *pre* dan *post test*. Teknik pengambilan sampel yang digunakan adalah *Consecutive Non-Random Sampling*, yaitu pemilihan semua subjek yang memenuhi kriteria inklusi dan eksklusi dalam jangka waktu tertentu hingga jumlah sampel yang dibutuhkan tercapai. Sebanyak 27 sampel dikumpulkan untuk penelitian ini. Sebelum berpartisipasi, semua calon subjek diberikan penjelasan komprehensif tentang tujuan dan manfaat penelitian, diikuti dengan pemberian persetujuan (*informed consent*). Subjek direkrut berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi pada tabel 1.

Tabel 1. Kriteria Inklusi dan Eksklusi Subjek

No	Kriteria Inklusi	Kriteria Eksklusi
1	Laki-laki	Mengonsumsi alkohol
2	Usia 18-30 tahun	Menerima vaksinasi intramuskular dalam waktu 12 jam sebelum penelitian
3	Bersedia menjadi subjek penelitian	Konsumsi obat-obatan tertentu (kortikosteroid, antibiotik, gol. Statin, anti depresan).
4	Jarang berolahraga	

Prosedur Intervensi dan Analisis Sampel Darah

Penilaian kebugaran awal dilakukan menggunakan Tes Langkah YMCA (*Young Men's Christian Association*), yaitu naik turun platform setinggi 30 cm dengan ritme tetap 96 denyut per menit selama tiga menit. Tes dilakukan dalam kondisi terkendali dengan peralatan yang diperlukan, termasuk stopwatch, metronom, dan oksimeter denyut untuk mengukur denyut jantung. Segera setelah tes, denyut jantung dicatat menggunakan oksimeter, dan subjek dibiarkan beristirahat selama lima menit. Berdasarkan hasil, subjek diklasifikasikan berdasarkan kriteria Harvard Step Test, dengan individu yang dikategorikan memiliki tingkat kebugaran "baik" atau "sangat baik" dikeluarkan, sementara mereka yang diklasifikasikan sebagai "buruk" hingga "rata-rata" diikutsertakan dalam penelitian.

Sebelum intervensi, sampel darah dikumpulkan dari semua subjek. Peserta kemudian diinstruksikan untuk melakukan latihan menaiki tangga selama lima menit, dengan target 60–80% dari detak jantung maksimum mereka. Jika target detak jantung tidak tercapai, durasi latihan diperpanjang 1–2 menit hingga intensitas yang diinginkan tercapai. Segera setelah intervensi selesai, sampel darah kedua diambil. Sampel darah diproses dengan sentrifugasi pada kecepatan $3.000 \times g$ selama 10 menit untuk memisahkan plasma dan serum selanjutnya disimpan pada suhu -80°C untuk analisis lebih lanjut.

Pengukuran Kadar IL-6 dan CRP Menggunakan ELISA

Konsentrasi IL-6 dan CRP diukur menggunakan *Enzyme-Linked Immunosorbent Assay* (ELISA) mengikuti protokol standar yang dilakukan di suhu ruangan (20–25°C). Strip plat mikro yang tidak terpakai dipisah dan disimpan dalam desikator vakum untuk mencegah paparan uap air. Sebanyak 100 µL sampel ditambahkan ke setiap sumur, kemudian plat diinkubasi pada suhu 37°C selama 90 menit. Sumur kemudian dicuci dua kali dengan 300 µL *wash buffer*. Selanjutnya, 100 µL larutan antibodi IL-6 ditambahkan dan plat diinkubasi selama 60 menit pada suhu 37°C. Setelah itu, larutan diaspirasi dan plat dicuci tiga kali dengan 300 µL *wash buffer*. Selanjutnya, 100 µL reagen *streptavidin-biotin complex* (SABC) ditambahkan ke setiap sumur, diinkubasi selama 30 menit pada suhu 37°C, lalu dibuang. Sumur kembali diaspirasi dan dicuci lima kali. Kemudian, 90 µL reagen substrat tetrametilbenzidin (TMB) ditambahkan dan diinkubasi secara statis selama 10–20 menit pada suhu 37°C. Reaksi dihentikan dengan menambahkan 50 µL *stop solution* ke setiap sumur, yang menyebabkan perubahan warna dari biru menjadi kuning. Absorbansi diukur menggunakan pembaca pelat mikro pada panjang gelombang 450 nm.

Analisis Data

Data absorbansi dibuat menjadi kurva standar menggunakan GraphPad Prism. Uji Wilcoxon dilakukan karena data menunjukkan distribusi non-normal berdasarkan uji Shapiro-Wilk. Tingkat signifikansi 95% digunakan untuk menilai hubungan statistik, dengan nilai $p > 0,05$ menunjukkan hubungan non-signifikan. Untuk menganalisa korelasi, uji korelasi Pearson digunakan.

Pertimbangan Etis

Penelitian ini telah disetujui dan dinyatakan layak secara etis oleh Komite Etik Fakultas Kedokteran Universitas Trisakti, dengan nomor persetujuan etik 010/KER/FK/02/2025. Persetujuan partisipan untuk berpartisipasi dalam penelitian ini diperoleh melalui penandatanganan formulir persetujuan tindakan medis (informed consent).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Data Demografi Spesimen

Sebanyak 27 dengan total sampel darah sebanyak 54 sampel. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa 18 subjek (66,67%) termasuk dalam kelompok usia 18-20 tahun, sedangkan 9 subjek (33,33%) berada pada rentang 21-25 tahun. Tidak ada subjek yang didapatkan dalam kelompok umur 26-30 tahun (tabel 1).

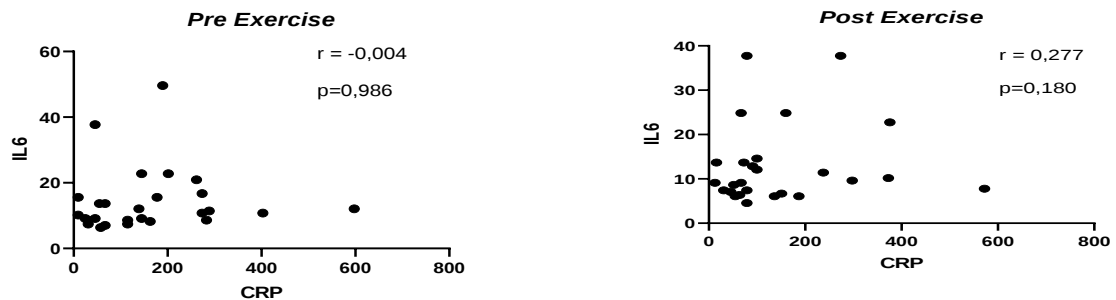
Tabel 1. Data Demografis

Kelompok Umur (Usia)	n	Persentase (%)
18-20	18	66,67
21-25	9	33,33

Korelasi Kadar IL6 dan CRP Sebelum dan Segera Sesudah Intervensi

Analisis korelasi antara kadar Interleukin-6 (IL-6) dan C-Reactive Protein (CRP) sebelum dan sesudah aktivitas fisik naik turun tangga ditampilkan pada Gambar 1. Pada kondisi pra-latihan (Pre Exercise), nilai korelasi Pearson antara IL-6 dan CRP adalah $r = -0,004$ dengan nilai $p = 0,986$, menunjukkan tidak adanya hubungan yang signifikan antara kedua biomarker inflamasi tersebut sebelum aktivitas fisik. Data ini mengindikasikan bahwa pada kondisi basal, variasi kadar IL-6 tidak berhubungan dengan variasi kadar CRP di dalam darah subjek penelitian. Setelah aktivitas fisik (Post Exercise), nilai korelasi meningkat menjadi $r = 0,277$ dengan nilai $p = 0,180$, yang walaupun menunjukkan kecenderungan hubungan positif, tetap tidak signifikan secara statistik. Hal ini

menunjukkan bahwa meskipun terdapat kecenderungan peningkatan hubungan antara IL-6 dan CRP setelah latihan, hubungan tersebut belum cukup kuat untuk dianggap signifikan pada sampel ini.



Gambar 1. Korelasi antara kadar IL6 dan CRP sebelum dan sesudah latihan fisik.

Pembahasan

Penelitian ini menemukan bahwa tidak terdapat korelasi yang signifikan antara kadar IL-6 dan CRP baik sebelum maupun segera setelah aktivitas fisik naik turun tangga dengan intensitas sedang. IL-6 merupakan sitokin multifungsi yang berperan sebagai mediator inflamasi dan anti-inflamasi, dilepaskan secara cepat oleh otot rangka sebagai respons terhadap kontraksi otot dan stres metabolik selama latihan (Suzuki, 2018). Sebaliknya, CRP adalah protein fase akut yang dihasilkan oleh hati sebagai respons terhadap sitokin pro-inflamasi seperti IL-6, dan berfungsi sebagai indikator inflamasi sistemik (Sivakumar et al., 2025).

Ketiadaan korelasi signifikan pada kondisi pra-latihan mengindikasikan bahwa dalam keadaan istirahat, kadar IL-6 dan CRP tidak saling terkait secara langsung pada individu sehat. Ini konsisten dengan literatur yang menyatakan bahwa kadar basal IL-6 dan CRP dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti status metabolik, berat badan, dan kondisi inflamasi kronis, yang mungkin tidak saling berkaitan secara langsung (Suzuki, 2018).

Setelah latihan, meskipun terdapat peningkatan korelasi positif antara IL-6 dan CRP, nilai tersebut tidak mencapai signifikansi statistik. Hal ini dapat dijelaskan oleh beberapa faktor. Pertama, aktivitas naik turun tangga selama 5 menit dengan intensitas sedang mungkin tidak cukup memberikan stimulus inflamasi yang kuat untuk memicu respons sistemik yang signifikan (Sivakumar et al., 2025). Kedua, kinetika pelepasan IL-6 dan CRP berbeda; IL-6 dapat meningkat pesat selama dan segera setelah latihan, sedangkan CRP mencapai puncaknya beberapa jam hingga hari setelah stimulus inflamasi (Chen et al., 2021; Wang et al., 2020). Oleh karena itu, pengambilan sampel darah segera setelah latihan mungkin belum menangkap puncak respons CRP yang sesungguhnya.

Selain itu, adaptasi fisiologis pada individu yang sudah terbiasa berolahraga juga dapat mengurangi respons inflamasi terhadap latihan, sehingga hubungan antara IL-6 dan CRP menjadi lebih lemah (Peake et al., 2015). Studi oleh Peake et al. (2017) menegaskan bahwa respons inflamasi terhadap latihan sangat bergantung pada intensitas, durasi, dan status kebugaran individu (Peake et al., 2017). Latihan dengan intensitas lebih tinggi dan durasi lebih lama cenderung menghasilkan respons inflamasi yang lebih jelas dan korelasi yang lebih kuat antara IL-6 dan CRP (Peake et al., 2015).

Penelitian ini juga menggarisbawahi pentingnya waktu pengukuran biomarker inflamasi dalam studi latihan fisik. Pengukuran pada beberapa waktu pasca-latihan (misalnya 6, 24, dan 48 jam) diperlukan untuk mengamati dinamika pelepasan IL-6 dan CRP secara lebih komprehensif (Čížková et al., 2020). Selain itu, penelitian dengan sampel yang lebih besar dan desain longitudinal dapat memberikan gambaran yang lebih akurat mengenai hubungan antara biomarker inflamasi ini.

Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa tidak terdapat korelasi yang signifikan antara kadar Interleukin-6 (IL-6) dan C-Reactive Protein (CRP) baik sebelum maupun segera setelah aktivitas fisik naik turun tangga dengan intensitas sedang. Meskipun terdapat kecenderungan peningkatan hubungan positif antara IL-6 dan CRP setelah latihan, hubungan tersebut belum signifikan secara statistik. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh durasi dan intensitas latihan yang relatif ringan, serta perbedaan waktu puncak pelepasan kedua biomarker inflamasi tersebut. Oleh karena itu, aktivitas fisik dengan karakteristik tersebut tidak memicu respons inflamasi sistemik yang kuat pada populasi dewasa muda yang sehat.

Saran

Penelitian lanjutan dengan pengukuran biomarker pada waktu pasca-latihan yang berbeda dan dengan intensitas latihan yang bervariasi diperlukan untuk memahami lebih lanjut dinamika hubungan antara IL-6 dan CRP.

DAFTAR PUSTAKA

- Azam, M., Lestari, S., Rahayu, S. R., et al. Baseline and post-exercise high-sensitivity C-reactive protein levels in endurance cyclists: The Indonesian North Coast and Tour De Borobudur 2017 study. *Indonesian Biomedical Journal*. 2019;11(1):91–99. <https://doi.org/10.18585/inabj.v11i1.560>
- Baumert, P., Lake, M. J., Stewart, C. E., & Drust, B. Genetic variation and exercise-induced muscle damage: Implications for athletic performance, injury and ageing. *European Journal of Applied Physiology*. 2016;116:1595–1625. <https://doi.org/10.1007/s00421-016-3411-1>
- Chaeroni, A., Ma'mun, A., & Budiana, D. Aktivitas fisik: Apakah memberikan dampak bagi kebugaran jasmani dan kesehatan mental? *Sporta Saintika*. 2021;6(1):54–62. <https://doi.org/10.24036/sporta.v6i1.163>
- Chazaud, B. Inflammation during skeletal muscle regeneration and tissue remodeling: Application to exercise-induced muscle damage management. *Immunology and Cell Biology*. 2016;94:140–145. <https://doi.org/10.1038/icb.2015.97>
- Chen, D. Y., Sawamura, T., Dixon, R. A. F., Sánchez-Quesada, J. L., & Chen, C. H. Autoimmune Rheumatic Diseases: An Update on the Role of Atherogenic Electronegative LDL and Potential Therapeutic Strategies. *Journal of Clinical Medicine*. 2021;10(9):1992. <https://doi.org/10.3390/jcm10091992>
- Čížková, T., Štěpán, M., Daňová, K., Ondrůjová, B., Sontáková, L., Krauzová, E., Matouš, M., Koc, M., Gojda, J., Kračmerová, J., Štich, V., Rossmeislová, L., & Šiklová, M. Exercise Training Reduces Inflammation of Adipose Tissue in the Elderly: Cross-Sectional and Randomized Interventional Trial. *The Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*. 2020;105(12). <https://doi.org/10.1210/clinem/dgaa630>
- Jones, A. M., Vanhatalo, A., & Burnley, M. Physiological demands of endurance exercise. *Comprehensive Physiology*. 2020;10(4):1491–1541. <https://doi.org/10.1002/9781444303315.ch3>
- Kamath, D. Y., Xavier, D., Sigamani, A., et al. High-sensitivity C-reactive protein (hsCRP) & cardiovascular disease: An Indian perspective. *Indian Journal of Medical Research*. 2015;142:261–268. <https://doi.org/10.4103/0971-5916.166582>
- Leuchtmann, A. B., Furrer, R., Steurer, S. A., et al. Interleukin-6 potentiates endurance training adaptation and improves functional capacity in old mice. *Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle*. 2022;13(2):1164–1176. <https://doi.org/10.1002/jcsm.12949>
- Libby, P., Ridker, P. M., & Hansson, G. K. Progress and challenges in translating the biology of atherosclerosis. *Nature*. 2021;473(7347):317–325. <https://doi.org/10.1038/nature10146>

- Marnell, L., Mold, C., & Du Clos, T. W. C-reactive protein: Ligands, receptors, and role in inflammation. *Clinical Immunology*. 2005;117:104–111. <https://doi.org/10.1016/j.clim.2005.08.004>
- Morishima, T., Kurihara, T., & Iwasaki, K. I. Endurance training activates skeletal muscle peroxisome proliferator-activated receptor- γ coactivator-1 α , mitochondrial biogenesis, and angiogenesis in healthy middle-aged adults. *Journal of Physiology*. 2020;598(5):1213–1224.
- Nieman, D. C., & Wentz, L. M. The compelling link between physical activity and the body's defense system. *Journal of Sport and Health Science*. 2019;8(3):201–217. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2018.09.009>
- Peake, J. M., Della Gatta, P. A., Suzuki, K., & Nieman, D. C. Cytokine expression and secretion by skeletal muscle cells: regulatory mechanisms and exercise effects. *Exercise Immunology Review*. 2015;21:8–25.
- Peake, J. M., Neubauer, O., Della Gatta, P. A., & Nosaka, K. Muscle damage and inflammation during recovery from exercise. *Journal of Applied Physiology*. 2017;122(3):559–570. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00971.2016>
- Pedersen, B. K. Muscles and their myokines. *Journal of Experimental Biology*. 2021;224(Suppl 1). <https://doi.org/10.1242/jeb.242229>
- Pedersen, B. K., & Febbraio, M. A. Muscles, exercise and obesity: Skeletal muscle as a secretory organ. *Nature Reviews Endocrinology*. 2019;8(8):457–465. <https://doi.org/10.1038/nrendo.2012.49>
- Pimenta, E. M., Coelho, D. B., Cruz, I. R., et al. The ACTN3 genotype in soccer players in response to acute eccentric training. *European Journal of Applied Physiology*. 2012;112:1495–1503. <https://doi.org/10.1007/s00421-011-2109-7>
- Reihmane, D., & Dela, F. Interleukin-6: Possible biological roles during exercise. *European Journal of Sport Science*. 2014;14(3):242–250. <http://dx.doi.org/10.1080/17461391.2013.776640>
- Romadhoni, W. N., Nasuka, N., & Candra, A. R. D. Aktivitas fisik mahasiswa pendidikan kepelatihan olahraga selama pandemi COVID-19. *Gelanggang Olahraga: Jurnal Pendidikan Jasmani dan Olahraga (PJO)*. 2022;5(2):200–207. <https://doi.org/10.31539/pjo.v5i2.3470>
- Sivakumar, S., Makhija, I., Bhagat, R., Maurya, S., Chatterjee, N. S., Bansal, S., & Chandra, N. Ethnicity-based variations in biological reference interval- A systematic scoping review. *Clinica Chimica Acta*. 2025;578:120539. <https://doi.org/10.1016/j.cca.2025.120539>
- Sproston, N. R., & Ashworth, J. J. Role of C-reactive protein at sites of inflammation and infection. *Frontiers in Immunology*. 2018;9:754. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2018.00754>
- Steensberg, A., van Hall, G., Osada, T., Sacchetti, M., Saltin, B., & Pedersen, B. K. Production of interleukin-6 in contracting human skeletal muscles can account for the exercise-induced increase in plasma interleukin-6. *Journal of Physiology*. 2019;529(1):237–242. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7793.2000.00237.x>
- Stožer, A., Vodopivec, P., & Bombek, L. K. Pathophysiology of exercise-induced muscle damage and its structural, functional, metabolic, and clinical consequences. *Physiological Research*. 2020;69:565–598. <https://doi.org/10.33549/physiolres.934371>
- Suzuki, K. Cytokine response to exercise and its modulation. *Antioxidants (Basel)*. 2018;7(1):17. <https://doi.org/10.3390/antiox7010017>
- Suzuki, K., Tominaga, T., Ruhee, R. T., & Ma, S. The acute response of the immune, endocrine, and metabolic systems to exercise: A review of the influence of cytokines. *Journal of Biomedical Science*. 2020;27(1):13.
- Uciechowski, P., & Dempke, W. Interleukin-6: A master player in the cytokine network. *Oncology*. 2020;98(3):131–137. <https://doi.org/10.1159/000505099>
- Wang, J., Liu, S., Li, G., & Xiao, J. Exercise Regulates the Immune System. *Advances in Experimental Medicine and Biology*. 2020;1228:395–408. https://doi.org/10.1007/978-981-15-1792-1_27