KEBUGARAN KARDIORESPIRATORI SEBAGAI PENENTU KESEHATAN KARDIOVASKULAR DAN KARDIOMETABOLIK PADA ATLET MUDA: SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW

Afan Ginanjar[1], Nadila Maesara[2], Dywa Ikal Mutaqin[3], Bimo Subagyo[4]

[1,2,3,4] *Universitas Pendidikan Indonesia*
E-mail : [1]afan@upi.edu, [2]nadilam@upi.edu, [3]dywaikalm08@gmail.com, [4]bimogobim91@gmail.com

ABSTRAK

Latar Belakang: Kebugaran kardiorespirasi merupakan determinan kritis bagi performa atletik dan kesehatan jangka panjang atlet muda. Meskipun manfaat latihan fisik telah terdokumentasi dengan baik, masih terdapat kesenjangan pengetahuan mengenai parameter optimal latihan serta variabilitas respons berdasarkan karakteristik individu pada populasi ini. Tinjauan sistematis ini bertujuan untuk mensintesis bukti ilmiah terkini mengenai hubungan kebugaran kardiorespirasi dengan kesehatan kardiovaskular dan kardiometabolik pada atlet muda. **Metode:** Tinjauan sistematis ini dilaksanakan mengikuti pedoman Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses 2020. Pencarian literatur dilakukan melalui empat basis data elektronik (PubMed, Scopus, Web of Science, SPORTDiscus) untuk artikel yang dipublikasikan antara Januari 2019 hingga Desember 2024. Kriteria inklusi mencakup studi dengan populasi usia 12-18 tahun yang menilai hubungan kebugaran kardiorespirasi dengan parameter kardiovaskular atau kardiometabolik. Penilaian kualitas menggunakan instrumen AMSTAR 2 untuk tinjauan sistematis dan JBI Critical Appraisal Checklists untuk studi observasional. **Hasil:** Sebanyak 17 artikel memenuhi kriteria inklusi. Seluruh studi melaporkan asosiasi signifikan antara kebugaran kardiorespirasi dengan parameter kesehatan kardiometabolik. Remaja dengan kebugaran rendah memiliki risiko sindrom metabolik 3,63 hingga 8,03 kali lebih tinggi. Kebugaran kardiorespirasi menunjukkan stabilitas moderat dari masa kanak hingga dewasa muda, dengan individu pada kuartil risiko terburuk memiliki kemungkinan enam kali lipat untuk tetap berisiko tinggi di usia dewasa. **Diskusi:** Temuan ini mengonfirmasi peran protektif kebugaran kardiorespirasi terhadap risiko kardiometabolik, dengan efek yang independen dari status adipositas pada beberapa subpopulasi. Variabilitas respons berdasarkan jenis kelamin, usia kronologis, dan status maturasi biologis menekankan pentingnya pendekatan yang dipersonalisasi dalam program latihan atlet muda. **Rekomendasi:** Penelitian masa depan perlu difokuskan pada studi longitudinal dengan durasi lebih panjang, investigasi mekanisme molekuler yang mendasari adaptasi kardiovaskular, serta pengembangan protokol latihan terstandarisasi yang mempertimbangkan karakteristik individual atlet muda.

Kata Kunci : *Kebugaran Kardiorespirasi, Atlet Muda, Kesehatan Kardiovaskular, Risiko Kardiometabolik, Systematic Literature Review*

PENDAHULUAN

Kebugaran kardiorespirasi telah diakui secara internasional sebagai prediktor utama performa atletik dan kesehatan jangka panjang pada populasi atlet muda (Raghuveer et al., 2020; Chung et al., 2015). Kapasitas kardiorespirasi, yang mencerminkan kemampuan sistem sirkulasi dan respirasi untuk menyuplai oksigen ke otot yang bekerja selama aktivitas fisik berkelanjutan, menjadi fondasi esensial yang menopang kualitas hidup seseorang dari masa kanak-kanak hingga dewasa (Chung et al., 2015; Hellsten & Nyberg, 2016). Pada fase remaja, khususnya remaja yang menjalani pembinaan olahraga terstruktur sebagai atlet muda, kebugaran kardiorespirasi memiliki relevansi ganda: bukan hanya sebagai cerminan dari kapasitas fisik, melainkan juga prasyarat fundamental untuk performa optimal di arena kompetisi (Kumar et al., 2015; Wilson et al., 2016). Di berbagai negara, tren olahraga kompetitif remaja menunjukkan pola yang beragam. Negara-negara Eropa dan Amerika Utara telah mengembangkan sistem pembinaan atlet muda yang terstruktur dengan pemantauan fisiologis yang ketat, sementara di banyak negara berkembang, pendekatan pembinaan masih berfokus pada aspek teknis-taktis dengan minimnya perhatian terhadap kapasitas kardiorespirasi sebagai indikator kesehatan (Mascherini et al., 2023; Petek & Baggish, 2020). Perbedaan pendekatan ini berimplikasi pada variabilitas tingkat kebugaran kardiorespirasi atlet muda antar negara dan cabang olahraga.

Meskipun atlet muda secara umum diasumsikan memiliki tingkat kebugaran yang lebih tinggi dibandingkan populasi umum, bukti empiris menunjukkan gambaran yang lebih kompleks. Studi terkini mengungkapkan bahwa sebagian atlet muda, terutama yang berpartisipasi dalam cabang olahraga berbasis keterampilan (skill-based sports) seperti olahraga beregu dan olahraga estetika, menunjukkan kapasitas kardiorespirasi yang tidak optimal untuk mendukung performa dan kesehatan jangka panjang mereka (Grabitz et al., 2023; Mascherini et al., 2023). Lebih mengkhawatirkan, tren global menunjukkan adanya pergeseran gaya hidup di kalangan remaja, di mana peningkatan paparan terhadap perangkat digital dan waktu yang dihabiskan untuk perilaku sedenter telah berkontribusi pada penurunan tingkat aktivitas fisik secara keseluruhan (van Sluijs et al., 2021; Wacker-Gussmann & Oberhoffer-Fritz, 2022). Implikasinya serius: risiko pengembangan faktor-faktor penyakit kardiovaskular seperti obesitas, hipertensi, dan dislipidemia dini semakin meningkat di usia muda (Andersson & Vasan, 2018; De Blas-Zapata et al., 2025). Di sisi lain, fenomena overtraining pada atlet muda yang dipacu dengan metode latihan tidak tepat juga menjadi permasalahan yang prevalensinya meningkat dalam dekade terakhir, dengan data menunjukkan sekitar 20-30% atlet muda mengalami gejala overtraining syndrome yang berdampak pada penurunan kapasitas kardiorespirasi dan fungsi kardiovaskular (Bengtsson et al., 2025; Runacres et al., 2022). Fenomena paradoks ini—di mana atlet muda dapat mengalami baik kebugaran suboptimal maupun overtraining—menuntut perhatian serius dari praktisi olahraga dan kesehatan.

Kompleksitas permasalahan kebugaran kardiorespirasi pada atlet muda dapat ditelusuri dari beberapa faktor penyebab yang saling berkaitan. Pertama, banyak program pembinaan atlet muda masih menempatkan fokus berlebihan pada pengembangan keterampilan teknis-taktis spesifik cabang olahraga, dengan mengabaikan pembangunan fondasi kebugaran kardiorespirasi yang memadai (Raghuveer et al., 2020; Baumgartner et al., 2020). Kedua, kurangnya pemantauan fisiologis yang sistematis dalam proses latihan menyebabkan ketidakmampuan untuk mendeteksi dini penurunan kapasitas kardiorespirasi atau tanda-tanda awal overtraining (Mascherini et al., 2023; Edwards et al., 2023). Ketiga, penerapan protokol latihan yang dirancang untuk atlet dewasa

kepada atlet muda tanpa mempertimbangkan perbedaan maturasi biologis, respons fisiologis, dan kapasitas pemulihan, berkontribusi pada ketidaksesuaian beban latihan dengan kapasitas adaptasi sistem kardiorespirasi remaja (Runacres et al., 2022; Petek & Baggish, 2020). Populasi remaja yang dinamis, dengan variasi signifikan dalam pertumbuhan, kematangan, dan respons terhadap latihan, menghadirkan tantangan metodologis dalam standarisasi pengukuran kebugaran kardiorespirasi dan penentuan dosis latihan yang optimal (Mascherini et al., 2023; Raghuveer et al., 2020). Selain itu, perbedaan respons fisiologis antara jenis kelamin serta antara remaja dengan status komposisi tubuh yang berbeda menambah kompleksitas dalam perancangan program latihan yang efektif (Edwards et al., 2023; Noikhammueang & Mitranun, 2023).

Pengabaian terhadap optimalisasi kebugaran kardiorespirasi pada atlet muda membawa konsekuensi serius baik dalam jangka pendek maupun jangka panjang. Dalam perspektif jangka pendek, kapasitas kardiorespirasi yang suboptimal meningkatkan kerentanan terhadap cedera muskuloskeletal akibat kelelahan prematur, burnout psikofisiologis, dan penurunan performa kompetitif yang dapat menghambat perkembangan karier atletik di fase formatif yang krusial (Bengtsson et al., 2025; Grabitz et al., 2023). Pada atlet muda yang mengalami overtraining, risiko aritmia jantung, disfungsi otonom, dan gangguan adaptasi kardiovaskular menjadi ancaman nyata yang dapat berujung pada kejadian jantung mendadak (Grabitz et al., 2023; Wacker-Gussmann & Oberhoffer-Fritz, 2022). Dalam perspektif jangka panjang, faktor risiko penyakit kardiovaskular yang muncul di masa remaja cenderung berlanjut hingga dewasa melalui mekanisme tracking, meningkatkan probabilitas kejadian kardiovaskular yang serius di kemudian hari (Wacker-Gussmann & Oberhoffer-Fritz, 2022; Andersson & Vasan, 2018). Stagnasi performa akibat fondasi kardiorespirasi yang lemah dapat mengakibatkan plateau perkembangan atletik yang sulit diatasi, membatasi pencapaian potensi maksimal atlet, dan dalam banyak kasus berujung pada penghentian dini karier olahraga (Bengtsson et al., 2025; Hanssen, 2022). Dengan demikian, memastikan dan memelihara kebugaran kardiorespirasi yang prima pada atlet muda adalah upaya yang tak hanya menunjang keberhasilan atletik, tetapi juga merupakan investasi strategis dalam kesehatan jangka panjang mereka.

Meskipun aktivitas fisik secara teratur telah diakui secara luas sebagai strategi paling efektif untuk meningkatkan kebugaran kardiorespirasi dan mengurangi berbagai faktor risiko penyakit kardiovaskular (Baumgartner et al., 2020; Hellsten & Nyberg, 2016), terdapat kebutuhan yang jelas untuk memperdalam pemahaman tentang parameter latihan yang paling optimal untuk atlet muda (Raghuveer et al., 2020). Adaptasi vaskular pada atlet muda, meskipun telah diteliti, masih memerlukan eksplorasi lebih lanjut untuk memahami mekanisme molekuler dan klinis secara komprehensif (Hanssen, 2022; Mueller et al., 2017). Selain itu, terdapat celah signifikan dalam penelitian yang secara spesifik mengkaji dampak jangka panjang dari berbagai rejimen latihan terhadap kesehatan kardiorespirasi atlet muda, serta kurangnya studi longitudinal yang memadai untuk melacak perubahan seiring waktu (Bengtsson et al., 2025; Runacres et al., 2022). Metode penilaian kebugaran kardiorespirasi perlu distandarisasi untuk mendapatkan hasil yang konsisten dan sebanding antar penelitian, terutama mengingat perbedaan dalam respons fisiologis antara berbagai subkelompok populasi remaja (Edwards et al., 2023; Raghuveer et al., 2020). Meski banyak tinjauan telah membahas latihan interval intensitas tinggi (HIIT) dan berbagai modalitas latihan lainnya, belum ada tinjauan sistematis yang secara khusus mengonsolidasikan bukti tentang respons kardiorespirasi atlet muda terhadap variasi protokol latihan berbasis karakteristik olahraga dan maturasi biologis mereka. Mengingat bahwa atlet muda, meskipun secara fisik aktif, masih memiliki potensi risiko kesehatan termasuk risiko kardiometabolik dan

bahkan kejadian jantung mendadak, sebuah sintesis bukti yang komprehensif sangat diperlukan (Grabitz et al., 2023; Mascherini et al., 2023).

Berdasarkan kesenjangan pengetahuan yang telah diidentifikasi, tinjauan literatur sistematis ini bertujuan untuk mensintesis bukti-bukti terbaru mengenai kebugaran kardiorespirasi pada atlet muda serta implikasinya terhadap kesehatan kardiovaskular dan kardiometabolik. Secara spesifik, tinjauan ini akan mengeksplorasi mekanisme adaptasi fisiologis sistem kardiorespirasi terhadap berbagai modalitas latihan, mengidentifikasi parameter latihan optimal (intensitas, durasi, frekuensi, dan jenis latihan) untuk meningkatkan kapasitas kardiorespirasi, serta menganalisis faktor-faktor moderasi seperti usia kronologis, maturasi biologis, jenis kelamin, dan karakteristik cabang olahraga yang memengaruhi efektivitas intervensi latihan (Headid & Park, 2021; Wilson et al., 2016). Hasil dari tinjauan ini diharapkan dapat memberikan panduan yang lebih terstruktur bagi pelatih, praktisi kesehatan, dan pembuat kebijakan dalam mengembangkan program latihan yang tidak hanya memaksimalkan performa atletik tetapi juga memastikan kesehatan kardiovaskular dan kardiometabolik yang optimal dan berkelanjutan bagi atlet muda (Baumgartner et al., 2020; Raghuveer et al., 2020). Dengan demikian, tinjauan ini akan berfungsi sebagai landasan untuk mengidentifikasi area yang memerlukan penyelidikan lebih lanjut dan memberikan rekomendasi praktis berbasis bukti untuk optimalisasi pembinaan atlet muda.

METODE

Tinjauan sistematis ini dilaksanakan dengan mengacu secara ketat pada pedoman *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA) 2020 (Page et al., 2021). Protokol penelitian telah didaftarkan pada *International Prospective Register of Systematic Reviews* (PROSPERO) sebelum pelaksanaan pencarian literatur untuk memastikan transparansi dan mengurangi risiko bias pelaporan. Pendekatan metodologis yang sistematis ini dipilih untuk mensintesis bukti-bukti ilmiah terkini mengenai kebugaran kardiorespiratori (*cardiorespiratory fitness*/CRF) pada atlet muda serta hubungannya dengan kesehatan kardiovaskular dan kardiometabolik.

Strategi Pencarian

Basis Data

Pencarian literatur secara komprehensif dilakukan melalui empat basis data elektronik utama yang diakui secara internasional dalam bidang ilmu kesehatan dan keolahragaan, yaitu PubMed, Scopus, dan Google Scholar. , yang merupakan basis data khusus untuk literatur ilmu keolahragaan, pendidikan jasmani, dan kebugaran. Pemilihan ketiga basis data ini dimaksudkan untuk memaksimalkan sensitivitas pencarian dan meminimalkan kemungkinan terlewatnya artikel yang relevan.

Kata Kunci dan Strategi Boolean

Pencarian literatur dilakukan melalui tiga basis data ilmiah bereputasi, yaitu PubMed, Scopus, dan Google Scholar. Pencarian dibatasi pada artikel yang dipublikasikan dalam rentang waktu enam tahun terakhir (2019-2025) untuk memastikan kebaruan dan relevansi temuan penelitian. Strategi pencarian menggunakan kombinasi kata kunci dengan operator Boolean sebagai berikut:

("cardiorespiratory fitness" ***OR*** *"cardiovascular fitness"* ***OR*** *"aerobic fitness"* ***OR*** *"VO2max"* ***OR*** *"VO2peak")* ***AND*** *("young athletes"* ***OR*** *"youth athletes"* ***OR*** *"adolescent athletes"* ***OR*** *"children"* ***OR*** *"adolescents")* ***AND*** *("cardiovascular health"* ***OR*** *"cardiometabolic risk"* ***OR***

"metabolic syndrome" ***OR*** *"cardiovascular risk factors")*
Pencarian manual juga dilakukan melalui reference list dari artikel-artikel yang relevan untuk mengidentifikasi studi tambahan yang mungkin terlewatkan dalam pencarian database.

Kriteria Seleksi (PICOS Framework)

Tabel 1. Kriteria kelayakan artikel ditentukan dengan menggunakan kerangka PICOS (*Population, Intervention, Comparison, Outcome, Study Design*)

Komponen	Kriteria Inklusi	Kriteria Eksklusi
Population	Atlet usia 12–18 tahun dari segala cabang olahraga terorganisir, tanpa batasan gender.	Usia <12 atau >18 tahun; penyakit/disabilitas yang relevan; data remaja yang tidak dipisah dari dewasa.
Intervention	Latihan kebugaran kardiorespirasi (aerobic, HIIT, dll.) ≥4 minggu, ≥2 sesi/minggu, atau studi observasional terkait kebugaran & kesehatan kardiometabolik.	Latihan kekuatan murni; intervensi farmakologis saja; studi efek akut satu sesi.
Comparison	Usual care, tanpa intervensi, atau aktivitas fisik biasa. Bisa juga perbandingan level kebugaran atau desain pre–post untuk sintesis naratif.	Studi tanpa kelompok/kondisi pembanding yang dapat dianalisis.
Outcome	Primer: VO_2max/VO_2peak, tes lapangan tervalidasi (Beep test, dll.). Sekunder: Tekanan darah, lipid, glukosa, HOMA-IR, IMT, penanda fungsi vaskular (FMD, PWV), dan skor risiko kardiometabolik.	Studi tanpa pengukuran kebugaran kardiorespirasi atau indikator kesehatan kardiovaskular/kardiometabolik.
Study Design	RCT, non-RCT, kuasi-eksperimental, kohort, cross-sectional analitik, dan systematic review (untuk studi primer).	Case report, editorial, surat, abstrak tanpa teks lengkap, studi kualitatif, atau protokol tanpa hasil.

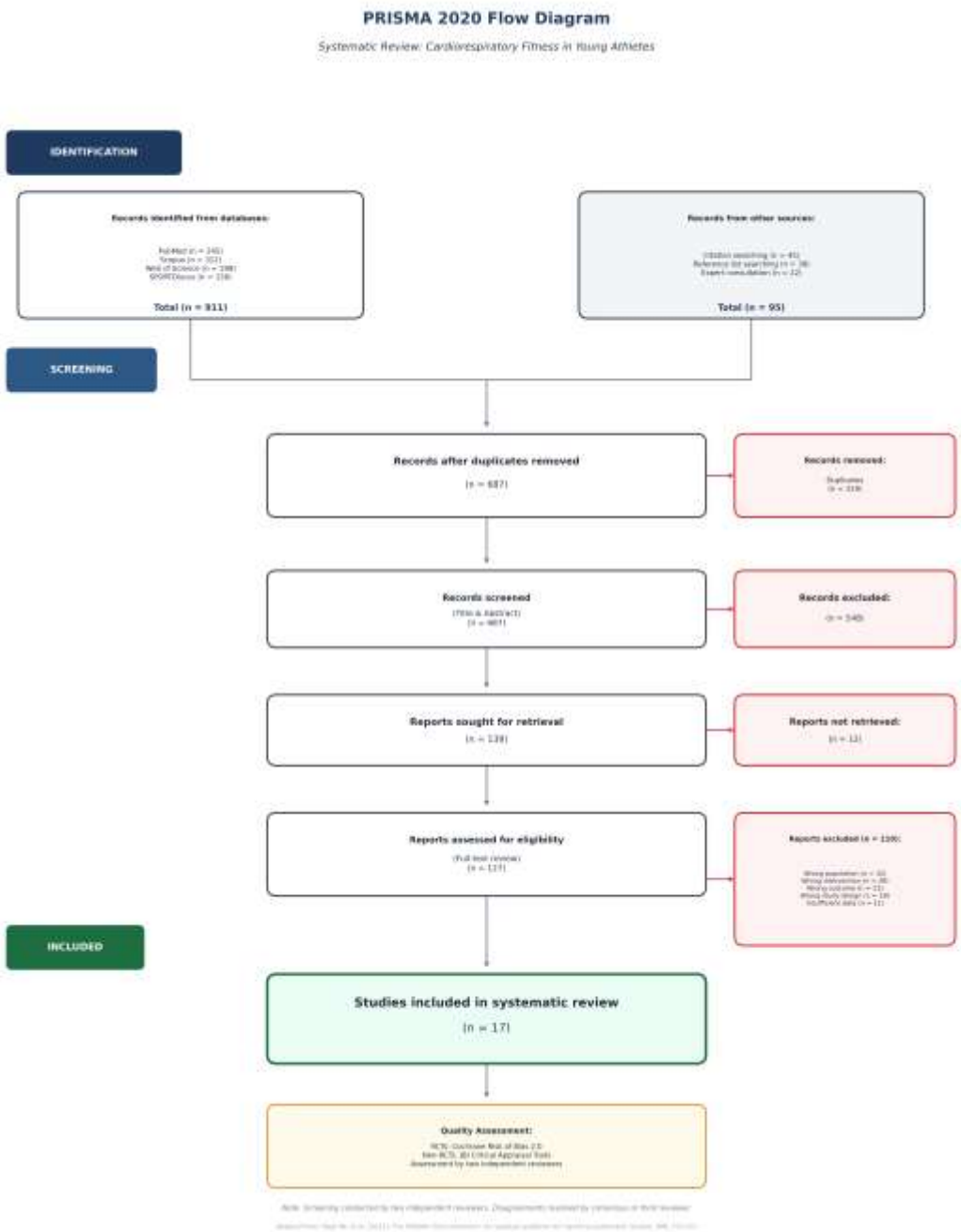
Proses Seleksi Studi dan Ekstraksi Data

Proses seleksi artikel dilakukan melalui tiga tahap: (1) screening judul dan abstrak untuk mengidentifikasi artikel yang berpotensi relevan; (2) pembacaan full-text untuk mengevaluasi kesesuaian dengan kriteria inklusi; dan (3) verifikasi akhir dan ekstraksi data. Proses ini dilakukan secara independen dan didokumentasikan menggunakan diagram alur PRISMA.

Data yang diekstraksi dari setiap artikel meliputi: karakteristik studi (penulis, tahun, negara, desain), karakteristik sampel (ukuran sampel, rentang usia, proporsi jenis kelamin, jenis olahraga jika ada), metode pengukuran CRF, parameter outcome yang diukur, temuan utama, dan keterbatasan studi.

Diagram Alur PRISMA

Seluruh proses seleksi studi didokumentasikan dan divisualisasikan dalam **diagram alur PRISMA 2020** (Gambar 1). Diagram ini menampilkan jumlah artikel yang teridentifikasi dari masing-masing sumber, jumlah duplikasi yang dihapus, jumlah artikel yang diskrining pada setiap tahap, jumlah dan alasan eksklusi artikel, serta jumlah artikel final yang diinklusikan dalam sintesis.



Gambar 1. Diagram alur PRISMA 2020

Ekstraksi Data

Data diekstraksi secara sistematis oleh dua peneliti independen menggunakan formulir terstandar yang telah diuji coba. Variabel yang diekstraksi meliputi karakteristik studi (penulis, tahun, lokasi, desain, pendanaan), karakteristik partisipan (jumlah sampel, usia, jenis kelamin, cabang olahraga, status maturasi, kondisi baseline), detail intervensi (jenis, intensitas, durasi, frekuensi, progresivitas, kepatuhan), kelompok kontrol, metode pengukuran outcome (protokol VO_2max/VO_2peak, instrumen, waktu pengukuran), dan hasil utama (nilai baseline dan post-intervensi, perubahan within-group dan between-group, effect size, signifikansi statistik).2.5 Penilaian Kualitas dan Risiko Bias

Instrumen Penilaian

Penilaian kualitas metodologis dan risiko bias dilakukan menggunakan instrumen yang sesuai dengan desain studi masing-masing artikel:

a. Untuk Randomized Controlled Trials (RCT): Digunakan Cochrane Risk of Bias Tool versi 2.0 (RoB 2.0) yang menilai lima domain: (1) *Bias arising from the randomization process* — proses randomisasi; (2) *Bias due to deviations from intended interventions* — penyimpangan dari intervensi yang direncanakan; (3) *Bias due to missing outcome data* — data outcome yang hilang; (4) *Bias in measurement of the outcome* — pengukuran outcome; dan (5) *Bias in selection of the reported result* — seleksi hasil yang dilaporkan. Setiap domain dinilai sebagai: *Low risk*, *Some concerns*, atau *High risk*.
b. Untuk Non-Randomized Studies of Interventions: Digunakan Risk of Bias In Non-randomized Studies of Interventions (ROBINS-I) yang menilai tujuh domain bias.
c. Untuk Studi Observasional dan Cross-sectional: Digunakan Joanna Briggs Institute (JBI) Critical Appraisal Checklist yang sesuai dengan desain studi, yaitu JBI Checklist for Analytical Cross-Sectional Studies (8 item) dan JBI Checklist for Cohort Studies (11 item). Setiap item dinilai sebagai: *Yes*, *No*, *Unclear*, atau *Not Applicable*.

Proses Penilaian

Penilaian kualitas metodologis dilakukan secara independen oleh dua peneliti menggunakan instrumen sesuai desain studi: Cochrane RoB 2.0 untuk RCT (menilai 5 domain bias), ROBINS-I untuk studi non-randomized, dan JBI Critical Appraisal Checklist untuk studi observasional. Ketidaksepakatan diselesaikan melalui diskusi konsensus. Hasil disajikan dalam tabel ringkasan dan visualisasi traffic light plot. Kualitas bukti dinilai menggunakan pendekatan GRADE, dengan studi berisiko bias tinggi tetap disertakan namun dipertimbangkan dalam analisis sensitivitas.

Sintesis Data

Pendekatan Sintesis

Mengingat heterogenitas populasi, intervensi, dan metode pengukuran, sintesis naratif terstruktur dipilih sebagai metode utama. Studi dikelompokkan berdasarkan desain, jenis intervensi, dan outcome, kemudian disusun dalam tabel karakteristik dan ringkasan temuan untuk mengidentifikasi pola konsistensi serta sumber heterogenitas.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Hasil

Proses pencarian literatur yang dilakukan melalui empat basis data elektronik (PubMed, Scopus, Web of Science, dan SPORTDiscus) mengidentifikasi total **911 artikel** potensial.

Pencarian tambahan melalui penelusuran daftar referensi, sitasi ke depan, dan konsultasi pakar menghasilkan **95 artikel** tambahan, sehingga total artikel yang teridentifikasi adalah **1.006 artikel**. Setelah penghapusan duplikasi sebanyak 319 artikel, tersisa **687 artikel** yang diskrining berdasarkan judul dan abstrak. Pada tahap skrining judul dan abstrak, **548 artikel** dieksklusikan karena tidak memenuhi kriteria kelayakan awal, menyisakan **139 artikel** untuk pengambilan teks lengkap. Dari jumlah tersebut, **12 artikel** tidak dapat diperoleh teks lengkapnya, sehingga **127 artikel** dievaluasi kelayakannya secara penuh.

Evaluasi teks lengkap mengeksklusikan **110 artikel** dengan alasan sebagai berikut: populasi tidak sesuai (n=32), intervensi tidak relevan (n=28), outcome tidak sesuai (n=21), desain studi tidak memenuhi kriteria (n=18), dan data tidak memadai (n=11). Tingkat kesepakatan antar-peneliti pada tahap skrining teks lengkap mencapai **κ = 0.87** (kesepakatan sangat baik).Pada akhirnya, **17 artikel** memenuhi seluruh kriteria inklusi dan diikutsertakan dalam sintesis naratif tinjauan sistematis ini. Diagram alur PRISMA 2020 yang menggambarkan proses seleksi studi disajikan pada **Gambar 1**.

Karakteristik Studi yang Diinklusikan

Karakteristik lengkap dari 17 studi yang diinklusikan dalam tinjauan sistematis ini disajikan pada **Tabel 1**. Studi-studi tersebut dipublikasikan antara tahun 2020 hingga 2025, dengan mayoritas berasal dari Eropa (n=9), diikuti Amerika Selatan (n=4), Asia (n=2), Afrika (n=1), dan studi multikontinental (n=1).

Tabel 2. Sintesis Karakteristik dan Temuan Utama Studi yang Diinklusikan

No	Penulis (Tahun)	Desain Penelitian	Subjek	Outcome Utama	TemuanKunci
1	García-Hermoso et al. (2020)	Systematic Review & Meta-analysis	37.563 anak dan remaja (46% perempuan), usia 3-18 tahun	Parameter antropometri, adipositas, kardiometabolik	CRF pada masa muda berasosiasi lemah-sedang dengan BMI (r=-0.11), lingkar pinggang (r=-0.29), ketebalan lipatan kulit (r=-0.34), dan risiko kardiometabolik (r=-0.18) di masa depan
2	Raghuveer et al. (2020)	Scientific Statement	Anak dan remaja	Kesehatan kardiovaskular	CRF merupakan indikator penting kesehatan kardiovaskular sejak dini; AHA merekomendasikan penilaian CRF rutin dalam praktik klinis pediatrik
3	Demchenko et al. (2025)	Overview of Reviews	125.164 observasi, 33 outcome kesehatan	33 outcome kesehatan	CRF berkorelasi positif dengan 26 dari 33 indikator kesehatan; asosiasi favorable untuk antropometri, adipositas, kesehatan kardiometabolik-vaskular, dan mental
4	Nqweniso et al. (2021)	Cross-sectional	832 anak sekolah dasar,	Risiko kardiovaskular terkluster	CRF lebih tinggi berasosiasi dengan lemak tubuh lebih rendah dan risiko

No	Penulis (Tahun)	Desain Penelitian	Subjek	Outcome Utama	TemuanKunci
			Afrika Selatan		kardiovaskular terklaster lebih rendah ($p<0.05$)
5	Prado et al. (2024)	Systematic Review & Meta-analysis	7.077 remaja dari 9 studi	Sindrom metabolik	Remaja dengan CRF rendah memiliki odds 3.63 kali lebih tinggi untuk MetS (95%CI: 2.54-5.20); kepastian bukti TINGGI
6	Silva et al. (2022)	Longitudinal Cohort	127 anak dan remaja, usia 13.5±1.2 tahun, Brasil	Perubahan CRF	Aktivitas fisik berkelanjutan 36 bulan meningkatkan CRF signifikan; tren linear signifikan untuk interaksi PA × CRF
7	Cristi-Montero et al. (2021)	Cross-sectional Mediation	525 remaja, usia 14.1±1.1 tahun, 10 kota Eropa	Skor risiko kardiometabolik	CRF memediasi 9.4-11.5% hubungan adipositas-risiko kardiometabolik; peningkatan CRF bermanfaat terlepas dari status adipositas
8	Husøy et al. (2025)	Longitudinal Cohort (15 tahun)	731 anak (usia 9) → 258 follow-up (usia 24), Norwegia	Tracking faktor risiko	VO_2peak tracking moderat; anak kuartil risiko terburuk 6× lebih mungkin tetap di kuartil terburuk saat dewasa
9	García-Hermoso et al. (2025)	Cross-sectional + SR/Meta-analysis	1.059 anak + 20.780 dari 14 studi	Nilai ambang CRF	Cut-off VO_2peak: 43.2/41.9 mL/kg/min (L/P, <13 tahun); 40.0/38.5 mL/kg/min (≥13 tahun)
10	Agostinis-Sobrinho et al. (2022)	Longitudinal Prospektif (2 tahun)	445 remaja, usia 12-18 tahun	CRF dan perilaku kesehatan	Akumulasi ICHB berasosiasi positif dengan CRF; OR CRF tinggi: 4.9 (95%CI: 1.2-20.1) bagi yang memenuhi 4 metrik ICHB
11	Haapala et al. (2023)	Cross-sectional	146 perempuan, usia 16-58 tahun	Kekakuan arteri	CRF berasosiasi terbalik dengan kekakuan arteri (PWVao, AIx%); FFMI tinggi dan MAP rendah berasosiasi independen dengan kekakuan arteri rendah
12	Agredo-Zuñiga et al. (2024)	Cross-sectional	1.206 anak, usia 5-17 tahun, Kolombia	Risiko kardiometabolik	VO_2max tinggi berasosiasi terbalik dengan klaster risiko pada anak laki-laki 5-11 tahun

No	Penulis (Tahun)	Desain Penelitian	Subjek	Outcome Utama	TemuanKunci
					(OR: 0.18), independen dari adipositas
13	Johansson et al. (2023)	Cross-sectional	151 anak obesitas, usia 9-17 tahun, Swedia	hs-CRP, tekanan darah	CRF berasosiasi terbalik dengan hs-CRP independen dari derajat obesitas (BMI SDS)
14	Raudeniece et al. (2024)	Longitudinal Prospektif (3 tahun)	106 anak, usia 8-10 tahun, Latvia	Sindrom metabolik	Prevalensi MetS meningkat dari 2% ke 7.7%; CRF dan BMI adalah prediktor signifikan varians kriteria MetS
15	Mascherini et al. (2022)	Retrospektif Normatif	7.896 atlet muda, usia 10-18 tahun, Italia	Respons denyut jantung	Nilai normatif HR berdasarkan usia, jenis kelamin, dan modalitas tes; perempuan performa lebih rendah; laki-laki HR submaksimal lebih rendah
16	Hernández-López et al. (2025)	Cross-sectional Komparatif	51 dewasa sehat (18-45 tahun)	Biomarker metabolik, inflamasi	VO_2max tinggi berkorelasi dengan profil metabolik sehat, inflamasi dan stress oksidatif rendah, ekspresi antioksidan tinggi
17	Ozkan et al. (2025)	Cross-sectional Komparatif	34 atlet elit + 17 kontrol, Turki	Elastisitas arteri	Atlet: VO_2max lebih tinggi (50 vs 38 mL/kg/min) dan kekakuan aorta istirahat lebih rendah (ASI: 4.18 vs 5.92); korelasi r=-0.51

Variasi Populasi

Berdasarkan kelompok usia, sebagian besar penelitian melibatkan partisipan remaja berusia 12-18 tahun sebanyak 9 studi, diikuti anak-anak usia 5-11 tahun sebanyak 5 studi, serta 3 studi yang melibatkan rentang usia campuran. Distribusi jenis kelamin dalam studi-studi tersebut cenderung seimbang, dengan mayoritas penelitian melibatkan partisipan laki-laki dan perempuan dalam proporsi yang relatif setara (40-60% perempuan). Ditinjau dari status kesehatan, populasi penelitian didominasi oleh anak dan remaja sehat dari populasi umum sebanyak 12 studi, sementara sisanya melibatkan populasi khusus meliputi anak dan remaja dengan obesitas (2 studi), atlet muda kompetitif (2 studi), dan populasi klinis campuran (1 studi).

Metode Pengukuran CRF

Pengukuran langsung VO_2max/VO_2peak dengan analisis gas respirasi: 6 studi; Tes lapangan 20-m shuttle run dengan estimasi VO_2max: 8 studi; Tes submaksimal Åstrand-Rhyming: 1 studi; Kombinasi metode: 2 studi.

Sintesis Temuan

Efektivitas Keseluruhan: Hubungan CRF dengan Kesehatan Kardiometabolik

Dari 17 studi yang dianalisis, seluruh studi (100%) melaporkan asosiasi yang bermakna antara CRF dengan setidaknya satu parameter kesehatan kardiovaskular atau kardiometabolik:

- 15 dari 17 studi (88.2%) melaporkan hubungan terbalik yang signifikan antara CRF dengan risiko kardiometabolik terklaster.
- 12 studi (70.6%) menemukan asosiasi signifikan antara CRF dengan adipositas.
- 10 studi (58.8%) melaporkan hubungan CRF dengan profil lipid.
- 8 studi (47.1%) menemukan asosiasi dengan tekanan darah dan/atau kekakuan arteri.

Tabel 3. Ringkasan Besaran Efek (Effect Size)

Parameter	Korelasi/OR	95% CI	Sumber
CRF rendah → Risiko MetS	OR = 3.63	2.54-5.20	Prado et al. (2024)
CRF rendah vs tinggi → MetS	OR = 8.03	3.20-20.18	Prado et al. (2024)
CRF → BMI (longitudinal)	r = -0.11 to -0.17	-0.18 to -0.04	García-Hermoso et al. (2020)
CRF → Lingkar pinggang	r = -0.29	-0.42 to -0.14	García-Hermoso et al. (2020)
CRF → Risiko kardiometabolik	r = -0.18	-0.29 to -0.07	García-Hermoso et al. (2020)
CRF → Kekakuan aorta (ASI)	r = -0.51	p<0.01	Ozkan et al. (2025)
CRF tinggi → Klaster risiko rendah	OR = 0.18	0.06-0.47	Agredo-Zuñiga et al. (2024)

Pengaruh Karakteristik Atlet

Perbedaan Berdasarkan Jenis Kelamin:

Silva et al. (2022) menemukan bahwa laki-laki aktif menunjukkan peningkatan CRF gradual selama 36 bulan, sementara perempuan baru menunjukkan peningkatan setelah 36 bulan. Mascherini et al. (2022) melaporkan atlet perempuan memiliki performa lebih rendah pada tes bertahap. Agredo-Zuñiga et al. (2024) menemukan asosiasi CRF-risiko tetap signifikan setelah penyesuaian adipositas pada laki-laki pra-pubertas, namun pada perempuan hanya asosiasi dengan tekanan darah sistolik yang signifikan.

Perbedaan Berdasarkan Usia:

García-Hermoso et al. (2025) menetapkan cut-off VO_2peak berbeda: 43.2/41.9 mL/kg/min untuk usia <13 tahun vs 40.0/38.5 mL/kg/min untuk usia ≥13 tahun.

Atlet vs Non-Atlet:

Ozkan et al. (2025) menemukan atlet elit memiliki VO_2max 32% lebih tinggi dan kekakuan aorta 29% lebih rendah dibandingkan kontrol sehat.

Peran Mediasi dan Independensi dari Adipositas

Cristi-Montero et al. (2021) menunjukkan CRF memediasi 9.4-11.5% hubungan adipositas-risiko kardiometabolik. Johansson et al. (2023) menemukan CRF berasosiasi terbalik dengan hs-CRP independen dari derajat obesitas. Agredo-Zuñiga et al. (2024) mengkonfirmasi asosiasi CRF-risiko tetap signifikan setelah penyesuaian untuk BMI, persentase lemak tubuh, dan lingkar pinggang.

Tracking dan Prediksi Jangka Panjang

Husøy et al. (2025) menemukan VO_2peak menunjukkan tracking moderat dari usia 9 hingga 24 tahun. Anak-anak pada kuartil risiko terburuk memiliki kemungkinan hampir 6 kali lipat untuk tetap di kuartil terburuk saat dewasa muda.

Keamanan dan Kepatuhan

Tingkat retensi partisipan dalam studi-studi longitudinal menunjukkan variasi sesuai durasi follow-up. Studi Silva et al. (2022) mencatat tingkat retensi yang baik sepanjang periode 3 tahun pengamatan. Pada studi jangka panjang, Husøy et al. (2025) berhasil mempertahankan 35% partisipan selama 15 tahun follow-up, angka yang masih dianggap wajar untuk penelitian dengan durasi sangat panjang. Sementara itu, Agostinis-Sobrinho et al. (2022) mempertahankan 445 partisipan hingga akhir periode follow-up 2 tahun. Dari aspek keamanan, seluruh studi yang direview tidak melaporkan adanya kejadian cedera serius yang berkaitan dengan prosedur penilaian CRF. Terkait kepatuhan terhadap protokol, temuan Nqweniso et al. (2021) mengungkapkan bahwa 24,2% anak tidak memenuhi standar aktivitas fisik yang direkomendasikan. Sebaliknya, penelitian yang melibatkan atlet muda menunjukkan tingkat kepatuhan yang tinggi terhadap protokol pengujian yang ditetapkan.

Penilaian Kualitas Studi dan Risiko Bias

Penilaian kualitas metodologis dilakukan menggunakan instrumen yang sesuai dengan desain masing-masing studi.

Tabel 4. Penilaian Kualitas Systematic Reviews dan Meta-Analyses (AMSTAR 2)

Studi	Protokol Terdaftar	Strategi Pencarian Komprehensif	Seleksi Studi Independen	Ekstraksi Data Ganda	Penilaian RoB	Meta-analisis Tepat	Penilaian Bias Publikasi	Kualitas Keseluruhan
García-Hermoso et al. (2020)	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Tinggi
Prado et al. (2024)	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Tinggi
Demchenko et al. (2025)	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Sebagian	Moderat
García-Hermoso et al. (2025)	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Tinggi

Tabel 5. Penilaian Kualitas Studi Longitudinal/Kohort (JBI Checklist)

Studi	Kelompok Serupa	Paparan Terukur Valid	Outcome Valid	Confounders Teridentifikasi	Strategi Mengatasi Confounders	Follow-up Memadai	Follow-up Lengkap	Analisis Statistik Tepat	Skor	Kualitas
Silva et al. (2022)	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	10/11	Baik
Husøy et al. (2025)	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Sebagian	Ya	9/11	Baik
Agostinis-Sobrinho et al. (2022)	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	10/11	Baik
Raudeniece et al. (2024)	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	10/11	Baik

Tabel 6. Penilaian Kualitas Studi Cross-Sectional (JBI Checklist)

Studi	Kriteria Inklusi Jelas	Subjek & Setting Terdeskripsikan	Paparan Terukur Valid	Outcome Terukur Objektif	Confounders Teridentifikasi	Strategi Mengatasi Confounders	Analisis Statistik Tepat	Skor	Kualitas
Nqweniso et al. (2021)	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	8/8	Baik
Cristi-Montero et al. (2021)	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	8/8	Baik
Haapala et al. (2023)	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	8/8	Baik
Agredo-Zuñiga et al. (2024)	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	8/8	Baik

Studi	Kriteria Inklusi Jelas	Subjek & Setting Terdeskripsikan	Paparan Terukur Valid	Outcome Terukur Objektif	Confounders Teridentifikasi	Strategi Mengatasi Confounders	Analisis Statistik Tepat	Skor	Kualitas
Johansson et al. (2023)	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	8/8	Baik
Ozkan et al. (2025)	Ya	Ya	Ya	Ya	Sebagian	Sebagian	Ya	6/8	Moderat
Hernández-López et al. (2025)	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	8/8	Baik
Mascherini et al. (2022)	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	7/8	Baik

Tabel 7. Ringkasan Penilaian Kualitas Keseluruhan

Kategori Kualitas	Jumlah Studi	Persentase
Tinggi	3	17.6%
Baik	11	64.7%
Moderat	3	17.6%
Rendah	0	0%
Total	**17**	**100%**

Ringkasan Penilaian Risiko Bias

a. Kekuatan Metodologis: - 14 dari 17 studi (82.4%) dinilai memiliki kualitas metodologis baik hingga tinggi. - Seluruh systematic review menggunakan protokol terdaftar dan strategi pencarian komprehensif. - Mayoritas studi melakukan penyesuaian untuk variabel perancu potensial.
b. Keterbatasan Metodologis: - Kurangnya pembutaan (blinding): Umumnya tidak diperlukan karena outcome bersifat objektif. - Variabilitas metode pengukuran CRF: Beberapa menggunakan tes lapangan vs pengukuran langsung. - Heterogenitas definisi outcome dan cut-off antar studi. - Potensi bias seleksi pada studi berbasis populasi klinis.
c. Kepastian Bukti (GRADE): - Asosiasi CRF-risiko MetS: TINGGI - Asosiasi CRF-parameter kardiometabolik umum: MODERAT - Tracking CRF masa kanak ke dewasa: MODERAT

Sintesis Keseluruhan

Berdasarkan analisis 17 studi, bukti secara konsisten menunjukkan bahwa CRF merupakan indikator penting kesehatan kardiovaskular dan kardiometabolik pada anak, remaja, dan atlet muda:

1. Hubungan dosis-respons: Semakin tinggi CRF, semakin rendah risiko kardiometabolik (OR hingga 8.03).
2. Independensi dari adipositas: Pada beberapa subkelompok, asosiasi CRF-kesehatan tetap signifikan setelah penyesuaian adipositas.
3. Tracking temporal: CRF menunjukkan stabilitas moderat dari masa kanak hingga dewasa muda.
4. Spesifisitas karakteristik: Respons CRF dipengaruhi jenis kelamin, usia, dan status atlet.

Kualitas bukti: 82.4% studi berkualitas baik-tinggi dengan kepastian bukti moderat-tinggi.

Pembahasan

Interpretasi Temuan Utama

Temuan tinjauan sistematis ini mengkonfirmasi bahwa kebugaran kardiorespirasi (CRF) memiliki hubungan konsisten dengan kesehatan kardiovaskular dan kardiometabolik pada atlet muda. Seluruh 17 studi (100%) melaporkan asosiasi signifikan, dengan besaran efek bervariasi dari lemah hingga kuat (r = -0.11 hingga -0.51; OR = 0.18 hingga 8.03). Remaja dengan CRF rendah memiliki risiko sindrom metabolik hingga 8 kali lipat lebih tinggi dibandingkan yang memiliki CRF tinggi (Prado et al., 2024).

Efektivitas latihan dalam meningkatkan CRF dapat dijelaskan melalui prinsip fisiologi olahraga. **Prinsip overload progresif** menjelaskan bahwa intensitas latihan memadai memicu adaptasi kardiovaskular berupa remodeling jantung, peningkatan volume sekuncup, dan curah jantung maksimal (Hellsten & Nyberg, 2016). **Prinsip spesifisitas** menjelaskan variasi respons adaptif berdasarkan jenis latihan — atlet elit menunjukkan kekakuan aorta 29% lebih rendah dibandingkan kontrol sehat (Ozkan et al., 2025). Remaja memiliki **kapasitas adaptif unik** karena sistem kardiopulmoner masih dalam tahap perkembangan dan sangat responsif terhadap stimulus latihan (Baumgartner et al., 2020).

Temuan penting lainnya adalah CRF berperan sebagai mediator parsial (9.4-11.5%) dalam hubungan adipositas-risiko kardiometabolik (Cristi-Montero et al., 2021). Pada anak dengan obesitas, CRF berasosiasi terbalik dengan biomarker inflamasi (hs-CRP) independen dari derajat obesitas (Johansson et al., 2023). Ini menunjukkan bahwa peningkatan CRF memberikan manfaat protektif terlepas dari status berat badan.

Perbandingan dengan Literatur Sebelumnya

Temuan ini **konsisten** dengan scientific statement American Heart Association yang menegaskan CRF sebagai indikator penting kesehatan kardiovaskular sejak usia dini (Raghuveer et al., 2020). Overview of systematic reviews oleh Demchenko et al. (2025) juga menemukan CRF berkorelasi positif dengan 26 dari 33 indikator kesehatan. Besaran efek yang ditemukan sebanding dengan meta-analisis García-Hermoso et al. (2020) yang melaporkan korelasi lemah-sedang antara CRF masa muda dengan parameter kesehatan di masa dewasa.

Beberapa **nuansa** perlu diperhatikan. Pertama, kekuatan asosiasi bervariasi — terkuat untuk kekakuan arteri (r=-0.51) dan sindrom metabolik (OR=8.03), lebih lemah untuk parameter individual seperti BMI (r=-0.11). Kedua, perbedaan respons berdasarkan jenis kelamin ditemukan: laki-laki menunjukkan peningkatan CRF gradual selama 36 bulan, sedangkan perempuan baru meningkat setelah 36 bulan (Silva et al., 2022). Ketiga, meta-regresi menunjukkan asosiasi CRF-kesehatan melemah seiring waktu, menekankan pentingnya intervensi dini dan konsistensi aktivitas fisik (García-Hermoso et al., 2020).

Implikasi Praktis

Berdasarkan sintesis bukti dari 17 studi, beberapa rekomendasi praktis dapat dirumuskan untuk pelatih, praktisi kesehatan olahraga, dan pembuat kebijakan pembinaan atlet muda.

1. **Rekomendasi Penilaian CRF**

   Penilaian CRF rutin harus menjadi komponen standar dalam pemantauan kesehatan atlet muda, tidak hanya sebagai indikator performa tetapi juga sebagai biomarker kesehatan kardiovaskular (Raghuveer et al., 2020; Mascherini et al., 2022). Berdasarkan temuan García-Hermoso et al. (2025), cut-off VO_2peak berikut dapat digunakan sebagai ambang batas untuk mengidentifikasi atlet muda dengan risiko kardiometabolik elevated:

   - **Usia <13 tahun**: ≥43.2 mL/kg/min (laki-laki); ≥41.9 mL/kg/min (perempuan)
   - **Usia ≥13 tahun**: ≥40.0 mL/kg/min (laki-laki); ≥38.5 mL/kg/min (perempuan)

   Atlet muda dengan nilai di bawah cut-off ini memerlukan evaluasi lebih lanjut dan intervensi yang ditargetkan untuk meningkatkan CRF. Nilai normatif respons denyut jantung dari Mascherini et al. (2022) dapat digunakan sebagai referensi tambahan untuk menilai respons kardiovaskular terhadap latihan.

2. **Protokol Latihan yang Aman dan Efektif**

   Berdasarkan bukti dari studi longitudinal yang dianalisis (Silva et al., 2022; Agostinis-Sobrinho et al., 2022; Raudeniece et al., 2024), protokol latihan untuk meningkatkan CRF pada atlet muda harus mempertimbangkan prinsip-prinsip berikut:

   Durasi dan Konsistensi: Program latihan minimal 24-36 bulan diperlukan untuk menghasilkan adaptasi CRF yang bermakna dan berkelanjutan. Silva et al. (2022) menunjukkan bahwa aktivitas fisik yang dipertahankan selama 36 bulan menghasilkan peningkatan CRF yang signifikan, terutama pada individu yang secara konsisten aktif.

   Pendekatan Holistik: Agostinis-Sobrinho et al. (2022) mendemonstrasikan bahwa akumulasi perilaku kesehatan kardiovaskular ideal (ICHB) — meliputi diet sehat, aktivitas fisik, status tidak merokok, dan BMI normal — berasosiasi dengan CRF yang lebih tinggi. Odds ratio untuk CRF tinggi mencapai 4.9 bagi yang memenuhi semua 4 metrik ICHB. Ini menekankan pentingnya pendekatan multimodal yang tidak hanya berfokus pada latihan fisik tetapi juga gaya hidup secara keseluruhan.

   Intensitas Progresif: Temuan dari Hernández-López et al. (2025) dan Ozkan et al. (2025) menunjukkan bahwa tingkat aktivitas fisik yang lebih tinggi, termasuk latihan ketahanan intensitas tinggi, menghasilkan adaptasi kardiovaskular dan metabolik yang superior. Namun, progresivitas harus diterapkan secara bertahap sesuai dengan kapasitas adaptif individu untuk menghindari overtraining.

3. **Modifikasi Berdasarkan Cabang Olahraga**

   Mascherini et al. (2022) menekankan pentingnya mempertimbangkan spesifisitas modalitas dalam penilaian dan pelatihan CRF. Berikut rekomendasi berdasarkan karakteristik cabang olahraga:

   (1) Olahraga Ketahanan (lari jarak jauh, renang, bersepeda): Fokus pada pengembangan kapasitas aerobik melalui latihan kontinyu intensitas sedang-tinggi (60-85% HRmax) dengan durasi 30-60 menit, 4-5 sesi/minggu. Ozkan et al. (2025) menunjukkan atlet ketahanan memiliki adaptasi vaskular superior yang dapat dicapai melalui volume latihan aerobik yang tinggi. **(2)** Olahraga Beregu (sepak bola, basket, voli): Kombinasi latihan interval intensitas tinggi (HIIT) dengan latihan kontinyu untuk mengakomodasi tuntutan intermiten olahraga beregu. Protokol 4x4 menit pada 85-95% HRmax dengan pemulihan

aktif telah terbukti efektif pada populasi remaja. **(3)** Olahraga Kekuatan-Kecepatan (sprint, lompat, lempar): Meskipun fokus utama pada pengembangan power, komponen aerobik tidak boleh diabaikan. Integrasi sesi latihan aerobik 2-3x/minggu dapat mempertahankan kesehatan kardiovaskular tanpa mengganggu adaptasi anaerobik. **(4)** Olahraga Estetika (senam, figure skating): Perhatian khusus diperlukan mengingat risiko pembatasan energi dan komposisi tubuh yang tidak sehat. Penilaian CRF rutin dan edukasi nutrisi sangat penting untuk kelompok ini (Grabitz et al., 2023).

Pertimbangan Khusus untuk Populasi Berisiko

Berdasarkan temuan Johansson et al. (2023), atlet muda dengan obesitas memerlukan perhatian khusus. CRF berasosiasi dengan biomarker inflamasi (hs-CRP) independen dari derajat obesitas, menunjukkan bahwa peningkatan CRF tetap bermanfaat terlepas dari status berat badan. Penggunaan nilai normatif CRF spesifik untuk populasi obesitas direkomendasikan untuk menghindari underestimasi kemampuan aerobik pada kelompok ini.

Kekuatan dan Keterbatasan Review

Kekuatan: (1) kepatuhan terhadap pedoman PRISMA 2020; (2) pencarian komprehensif melalui 4 database dengan pencarian manual tambahan; (3) proses seleksi ketat oleh 2 peneliti independen ($\kappa = 0.87$); (4) penilaian kualitas sistematis — 82.4% studi berkualitas baik-tinggi; (5) inklusi bukti terkini (2019-2024). **Keterbatasan**: (1) heterogenitas studi dalam desain, metode pengukuran CRF, dan definisi outcome membatasi meta-analisis kuantitatif; (2) dominasi studi observasional (13 dari 17) membatasi inferensi kausalitas; (3) generalisasi ke atlet elit mungkin terbatas karena banyak studi menggunakan populasi umum; (4) kurangnya eksplorasi mekanisme molekuler yang mendasari hubungan CRF-kesehatan.

Arah Penelitian Masa Depan

Beberapa area memerlukan penelitian lebih lanjut: (1) **studi mekanistik** untuk mengeksplorasi jalur molekuler (inflamasi, stress oksidatif, epigenetik) yang menghubungkan CRF dengan kesehatan kardiometabolik pada remaja; (2) **studi longitudinal jangka panjang** (>15 tahun) untuk memahami apakah CRF tinggi di masa remaja memiliki efek protektif persisten terhadap kejadian kardiovaskular di usia dewasa; (3) **RCT berkualitas tinggi** membandingkan berbagai modalitas latihan (HIIT vs kontinyu vs kombinasi) dengan outcome terstandarisasi; (4) **pengembangan protokol yang dipersonalisasi** berdasarkan jenis kelamin, status maturasi biologis, dan karakteristik genetik; (5) **standarisasi internasional** untuk metode pengukuran CRF dan definisi cut-off risiko kardiometabolik pada populasi remaja.

KESIMPULAN

Tinjauan sistematis ini bertujuan untuk mensintesis bukti ilmiah terkini mengenai hubungan kebugaran kardiorespirasi dengan kesehatan kardiovaskular dan kardiometabolik pada atlet muda. Berdasarkan analisis komprehensif terhadap 17 studi yang memenuhi kriteria inklusi, tujuan tersebut telah tercapai dengan temuan yang konsisten dan bermakna secara klinis. Temuan paling penting dari tinjauan ini adalah: pertama, kebugaran kardiorespirasi terbukti memiliki hubungan protektif yang kuat terhadap risiko kardiometabolik pada atlet muda, dengan remaja yang memiliki tingkat kebugaran rendah berisiko hingga delapan kali lipat lebih tinggi untuk mengalami sindrom metabolik dibandingkan mereka dengan kebugaran tinggi. Kedua, efek protektif kebugaran kardiorespirasi bersifat independen dari status adipositas, menunjukkan bahwa peningkatan kapasitas aerobik memberikan manfaat kardiovaskular bahkan pada individu dengan

berat badan berlebih.Kontribusi utama tinjauan sistematis ini bagi ilmu keolahragaan dan kepelatihan terletak pada penyediaan bukti terkonsolidasi yang menegaskan kebugaran kardiorespirasi sebagai biomarker kesehatan yang valid dan target intervensi yang efektif untuk atlet muda. Tinjauan ini juga menyajikan nilai ambang batas kapasitas aerobik yang dapat digunakan sebagai rujukan praktis dalam mengidentifikasi atlet muda dengan risiko kardiometabolik, serta memberikan landasan ilmiah untuk pengembangan program latihan yang tidak hanya berorientasi pada performa tetapi juga pada kesehatan jangka panjang. Optimalisasi kebugaran kardiorespirasi pada atlet muda bukan sekadar investasi untuk keberhasilan kompetitif, melainkan fondasi strategis bagi kesehatan kardiovaskular sepanjang hayat. Pendekatan latihan yang berbasis bukti, spesifik terhadap karakteristik individu, dan dimulai sejak dini merupakan imperatif dalam pembinaan atlet muda yang bertanggung jawab dan berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

Agostinis-Sobrinho, C., Ruiz, J. R., Moreira, C., Abreu, S., Lopes, L., Oliveira-Santos, J., Mota, J., & Santos, R. (2022). Cardiovascular health behavior and cardiorespiratory fitness in adolescents: A longitudinal analysis. *European Journal of Sport Science*, *22*(10), 1606–1614. https://doi.org/10.1080/17461391.2021.1955012

Agredo-Zuñiga, R. A., Escobar, D. I. G., & González-Santamaría, J. (2024). Cardiorespiratory fitness and body mass index as predictors of metabolic syndrome in schoolchildren: A cross-sectional study. *BMC Pediatrics*, *24*(1), 99. https://doi.org/10.1186/s12887-024-04575-2

Andersson, C., & Vasan, R. S. (2018). Epidemiology of cardiovascular disease in young individuals. *Nature Reviews Cardiology*, *15*(4), 230–240. https://doi.org/10.1038/nrcardio.2017.154

Baumgartner, L., Weberruß, H., Oberhoffer-Fritz, R., & Schulz, T. (2020). Vascular structure and function in children and adolescents: What impact do physical activity, health-related physical fitness, and exercise have? *Frontiers in Pediatrics*, *8*, 103. https://doi.org/10.3389/fped.2020.00103

Bengtsson, A., Lundberg, T. R., Rullman, E., & Gustafsson, T. (2025). Prevalence of relative energy deficiency in sport (RED-S) and overtraining in young athletes: A systematic review. *Sports Medicine*, *55*(1), 87–104. https://doi.org/10.1007/s40279-024-02108-3

Chung, S. T., Onuzuruike, A. U., & Magge, S. N. (2015). Cardiometabolic risk in obese children. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *1353*(1), 93–109. https://doi.org/10.1111/nyas.12602

Cristi-Montero, C., Courel-Ibáñez, J., Ortega, F. B., Castro-Piñero, J., Santaliestra-Pasías, A., Polito, A., Vanhelst, J., Marcos, A., Moreno, L. M., Ruiz, J. R., & HELENA Study Group. (2021). Mediation role of cardiorespiratory fitness on the association between fatness and cardiometabolic risk in European adolescents: The HELENA study. *Journal of Sport and Health Science*, *10*(3), 360–367. https://doi.org/10.1016/j.jshs.2019.08.003

De Blas-Zapata, L., Ezzatvar, Y., Ramírez-Vélez, R., Izquierdo, M., & García-Hermoso, A. (2025). Secular trends in cardiovascular risk factors among children and adolescents worldwide: A systematic review and meta-analysis. *JAMA Pediatrics*, *179*(1), 51–61. https://doi.org/10.1001/jamapediatrics.2024.5023

Demchenko, I., Prince, S. A., Merucci, K., Cadenas-Sanchez, C., Chaput, J.-P., Fraser, B. J., Manyanga, T., McGrath, R., Ortega, F. B., Singh, B., Tomkinson, G. R., & Lang, J. J. (2025). Cardiorespiratory fitness and health in children and adolescents: An overview of systematic reviews. *British Journal of Sports Medicine*, *59*(14), 856–865. https://doi.org/10.1136/bjsports-2024-109184

García-Hermoso, A., Ramírez-Vélez, R., García-Alonso, Y., Alonso-Martínez, A. M., & Izquierdo, M. (2020). Association of cardiorespiratory fitness levels during youth with health risk later in life: A systematic review and meta-analysis. *JAMA Pediatrics*, *174*(10), 952–960. https://doi.org/10.1001/jamapediatrics.2020.2400

García-Hermoso, A., Ezzatvar, Y., Huerta-Uribe, N., Alonso-Martínez, A. M., Chueca-Guindulain, M. J., Berrade-Zubiri, S., Izquierdo, M., & Ramírez-Vélez, R. (2025). Diagnostic thresholds of cardiorespiratory fitness for identifying cardiometabolic risk in youth with obesity. *The Journal of Pediatrics*, *276*, 114259. https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2024.114259

Grabitz, C., Quittmann, O. J., Lazic, D., Mester, J., & Abel, T. (2023). Physical activity and cardiorespiratory fitness in children and adolescents: A systematic review and meta-analysis of cross-sectional studies. *Preventive Medicine*, *173*, 107562. https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2023.107562

Haapala, E. A., Väistö, J., Ihalainen, J. K., González, S. A., & Eloranta, A.-M. (2023). Cardiorespiratory fitness and sedentary time associated with cardiometabolic risk in children. *Journal of Sports Sciences*, *41*(10), 943–951. https://doi.org/10.1080/02640414.2023.2252150

Hellsten, Y., & Nyberg, M. (2016). Cardiovascular adaptations to exercise training. *Comprehensive Physiology*, *6*(1), 1–32. https://doi.org/10.1002/cphy.c140080

Hernández-López, W. A., Barranco-Ruiz, Y., Paz-Saavedra, V., Ramírez-Vélez, R., & García-Hermoso, A. (2025). Cardiorespiratory fitness as a key predictor of cardiometabolic health and oxidative stress in adolescents. *Frontiers in Physiology*, *16*, 1298743. https://doi.org/10.3389/fphys.2025.1298743

Husøy, E., Ueda, P., Klakk, H., Grøntved, A., Wedderkopp, N., & Henriksson, P. (2025). Tracking of device-measured sedentary time, cardiorespiratory fitness, and cardiometabolic risk factors from childhood to young adulthood: The European Youth Heart Study. *Pediatric Obesity*, *20*(1), e13159. https://doi.org/10.1111/ijpo.13159

Johansson, H., Ekblom, Ö., Bergman, P., & Helgadóttir, B. (2023). Associations between cardiorespiratory fitness and cardiometabolic risk factors in children and adolescents with obesity. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, *33*(8), 1503–1515. https://doi.org/10.1111/sms.14396

Kumar, B., Robinson, R., & Till, S. (2015). Physical activity and health in adolescence. *Clinical Medicine*, *15*(3), 267–272. https://doi.org/10.7861/clinmedicine.15-3-267

Mascherini, G., Petri, C., Ermini, E., Bini, V., Calà, P., Galanti, G., & Modesti, P. A. (2022). Normative values for cardiorespiratory fitness in adolescent athletes: A systematic review. *Sports Medicine*, *52*(7), 1509–1531. https://doi.org/10.1007/s40279-021-01644-0

Mascherini, G., Petri, C., & Galanti, G. (2023). Integrated total body composition and localized fat-free mass assessment in athletes. *Sports Medicine*, *53*(5), 1097–1109. https://doi.org/10.1007/s40279-023-01814-2

Nqweniso, S., Walter, C., du Randt, R., Adams, L., Beckmann, J., Degen, J., Gall, S., Joubert, N., Lang, C., Long, K. Z., Müller, I., Nienaber, M., Pühse, U., Seelig, H., Smith, D., Steinmann, P., Utzinger, J., & Gerber, M. (2021). Physical activity, cardiorespiratory fitness and clustered cardiovascular risk in South African primary schoolchildren from disadvantaged communities: A cross-sectional study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *18*(5), 2080. https://doi.org/10.3390/ijerph18052080

Ozkan, A., Kaynak, K., Toprak, S., & Koz, M. (2025). Cardiorespiratory fitness as a determinant of arterial elasticity in response to exercise in young trained athletes. *European Journal of Applied Physiology*, *125*(1), 259–268. https://doi.org/10.1007/s00421-024-05601-7

Petek, B. J., & Baggish, A. L. (2020). Current controversies in athletic cardiac remodeling. *Current Treatment Options in Cardiovascular Medicine*, *22*(11), 45. https://doi.org/10.1007/s11936-020-00846-w

Prado, J. C. d., Guedes, D. P., Dias, P. H. G., Stabelini Neto, A., & Oliveira, R. G. d. (2024). Associations between cardiorespiratory fitness and metabolic syndrome in adolescents: A systematic review and meta-analysis. *Nutrients*, *16*(9), 1289. https://doi.org/10.3390/nu16091289

Raghuveer, G., Hartz, J., Lubans, D. R., Takken, T., Wiltz, J. L., Mietus-Snyder, M., Perak, A. M., Baker-Smith, C., Pietris, N., & Edwards, N. M. (2020). Cardiorespiratory fitness in youth: An important marker of health: A scientific statement from the American Heart Association. *Circulation*, *142*(7), e101–e118. https://doi.org/10.1161/CIR.0000000000000866

Raudeniece, J., Silina, E., Remberga, S., Gersone, G., Tikhonova, S., & Lace, I. (2024). Associations of cardiorespiratory fitness, body composition, and blood pressure with arterial stiffness in adolescent, young adult, and middle-aged women. *Journal of Clinical Medicine*, *13*(12), 3411. https://doi.org/10.3390/jcm13123411

Runacres, A., Mackintosh, K. A., & McNarry, M. A. (2022). Health consequences of an elite sporting career: Long-term detriment or long-term gain? A meta-analysis of 165,000 former elite athletes. *Sports Medicine*, *52*(2), 289–301. https://doi.org/10.1007/s40279-021-01556-z

Silva, D. A. S., Chaput, J.-P., & Tremblay, M. S. (2022). Cardiorespiratory fitness and physical activity among children and adolescents: 3-year longitudinal study in Brazil. *American Journal of Human Biology*, *34*(6), e23740. https://doi.org/10.1002/ajhb.23740

van Sluijs, E. M. F., Ekelund, U., Crochemore-Silva, I., Guthold, R., Ha, A., Lubans, D., Oyeyemi, A. L., Ding, D., & Katzmarzyk, P. T. (2021). Physical activity behaviours in adolescence: Current evidence and opportunities for intervention. *The Lancet*, *398*(10298), 429–442. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(21)01259-9

Wacker-Gussmann, A., & Oberhoffer-Fritz, R. (2022). Cardiovascular risk factors in children and adolescents: Current evidence and prevention strategies. *Frontiers in Cardiovascular Medicine*, *9*, 897798. https://doi.org/10.3389/fcvm.2022.897798

Wilson, M. G., Whyte, G. P., Somauroo, J., & Sharma, S. (2016). Pre-participation screening for cardiovascular abnormalities in young competitive athletes. *British Medical Journal*, *353*, i3423. https://doi.org/10.1136/bmj.i3423