Science and Education Journal
Vol 5 No 3 (2026)
E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

Estimasi Kesiapan Fisiologis Dan Stratifikasi Risiko Metabolik Pendaki Gunung Dewasa Muda: Analisis Berbasis Global Physical Activity Questionnaire (GPAQ)

Moch Yunus[1], Afif Radika Nurbin[2], Moh. Abduh Malik[3], Farsya Hidayah Septiananda[4]

[1,2,3,4]Fakultas Kedokteran, Universitas Negeri Malang, Malang, Jawa Timur, Indonesia, moch.yunus.fk@um.ac.id

Abstrak

Pendakian gunung merupakan aktivitas fisik dengan beban kerja tinggi (*high physical workload*) yang menuntut efisiensi kardiorespirasi dan kapasitas fungsional yang substansial. Pemetaan kapasitas fisik harian sangat krusial sebagai indikator proksi dalam manajemen medis alam liar (*wilderness medical management*) guna memprediksi serta memitigasi risiko kegawatan akibat hipoksia ketinggian maupun kelelahan sistemik. Penelitian ini bertujuan untuk menguantifikasi profil aktivitas fisik harian dan melakukan stratifikasi risiko metabolik fungsional pada pendaki gunung rekreasi berdasarkan domain aktivitas harian dan kelompok jenis kelamin. Studi deskriptif potong lintang dilakukan terhadap 122 pendaki dewasa muda (88 laki-laki, 34 perempuan; usia 18–30 tahun) yang dipilih melalui teknik *purposive sampling* di pos registrasi Gunung Panderman-Buthak. Profil aktivitas fisik multi-domain (okupasional, transportasi, rekreasi) dievaluasi menggunakan instrumen *Global Physical Activity Questionnaire* (GPAQ) standar WHO. Data fungsional dikonversi menjadi indeks metabolik standar (*Metabolic Equivalent*/MET-menit/minggu) dan dianalisis menggunakan statistik deskriptif. Secara makro, populasi pendaki menunjukkan kapasitas metabolik yang sangat tinggi (*M = 10.529,34*; *SD = 7.588,38* MET-menit/minggu). Stratifikasi risiko berbasis gender mendeteksi adanya dimorfisme yang kontras: 86,36% pendaki pria berada pada kategori aktivitas tinggi (risiko fungsional rendah), sedangkan kelompok wanita menunjukkan heterogenitas dengan 14,71% berada pada kategori aktivitas rendah (risiko fungsional tinggi). Analisis dekomposisi domain mengonfirmasi bahwa aktivitas fisik okupasional/akademik harian merupakan kontributor utama dalam akumulasi energi mingguan (*M = 7.094,06* MET-menit/minggu). Mayoritas pendaki memiliki fondasi adaptasi fisik pra-pendakian yang memadai yang ditopang secara insidental oleh rutinitas harian. Namun, keberadaan subpopulasi dengan aktivitas fisik rendah—terutama pada kelompok wanita—mengidentifikasi adanya celah risiko klinis dalam perspektif kedokteran olahraga yang memerlukan skrining fisik objektif pra-ekspedisi dan program pengkondisian latihan yang terarah.

Kata Kunci: *Dimorfisme Gender, Kedokteran Olahraga, Kesiapan Fisiologis, Kuesioner Aktivitas Fisik Global (GPAQ), Stratifikasi Risiko Fungsional.*

Abstract

Mountaineering is a physically demanding activity characterized by a high workload, requiring significant cardiorespiratory efficiency and functional capacity. Mapping daily physical capacity is crucial as a proxy indicator in wilderness medical management, serving to predict and mitigate the risks of medical emergencies stemming from high-altitude hypoxia or systemic exhaustion. This study aimed to quantify daily physical activity profiles and stratify functional metabolic risk among recreational mountaineers, categorized by activity domain and gender. A cross-sectional descriptive study was conducted involving 122 young adult mountaineers (88 men, 34 women; aged 18–30 years), selected via purposive sampling at the registration post for Mount Panderman-

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

Buthak. Multi-domain physical activity profiles—encompassing occupational, transport-related, and recreational activities—were evaluated using the World Health Organization's Global Physical Activity Questionnaire (GPAQ). Functional data were converted into standard metabolic indices (Metabolic Equivalent/MET-minutes per week) and analyzed using descriptive statistics. At the macro level, the mountaineer population exhibited a very high metabolic capacity (M = 10,529.34; SD = 7,588.38 MET-minutes/week). Gender-based risk stratification revealed a distinct dimorphism: 86.36% of male mountaineers fell into the high-activity category (indicating low functional risk), whereas the female group showed greater heterogeneity, with 14.71% falling into the low-activity category (indicating high functional risk). Decomposition analysis by domain confirmed that daily occupational or academic physical activity was the primary contributor to total weekly energy expenditure (M = 7,094.06 MET-minutes/week). Most hikers possess an adequate foundation of physical adaptation, incidentally supported by their daily routines. However, the existence of a subpopulation with low physical activity levels—particularly among women—reveals a clinical risk gap from a sports medicine perspective, necessitating objective pre-expedition physical screening and targeted exercise conditioning programs.

Keywords: *Gender Dimorphism, Sports Medicine, Physiological Readiness, Global Physical Activity Questionnaire (GPAQ), Functional Risk Stratification.*

PENDAHULUAN

Aktivitas fisik merupakan landasan utama dalam mempertahankan homeostasis biologis manusia. Dari perspektif fisiologi olahraga, keterlibatan aktif dan konsisten dalam aktivitas fisik lintas domain (*multi-domain physical activity*) bertindak sebagai stimulator poten untuk menginduksi adaptasi fungsional jangka panjang. Proses adaptasi kronis ini tidak hanya mengoptimalkan cadangan metabolik, melainkan juga meningkatkan efisiensi kardiorespirasi serta memperkuat respons neuromuskular tubuh saat harus menghadapi stresor lingkungan maupun beban mekanis yang berat. Dalam spektrum aktivitas petualangan, pendakian gunung (*mountaineering*) diklasifikasikan sebagai olahraga luar ruangan ekstrem (*extreme outdoor sports*) yang menuntut keterlibatan fisik tingkat tinggi serta beban kerja fisik yang signifikan (*high physical workload*). Keberhasilan mobilitas fungsional di dataran tinggi sangat bergantung pada integritas fisiologis pendaki, yang meliputi konsumsi oksigen maksimal ($\dot{V}O_2max$), daya tahan otot lokal (*local muscular endurance*), stabilitas kinetik artikular, serta kapasitas toleransi tubuh terhadap penurunan tekanan parsial oksigen lingkungan (PO_2).

Selama satu dekade terakhir, lanskap sosiokultural pendakian gunung di Indonesia mengalami pergeseran paradigma yang masif. Kegiatan ini bertransformasi dari sekadar olahraga minat khusus yang eksklusif menjadi tren gaya hidup rekreasi yang digemari kalangan dewasa muda perkotaan. Motivasi utama di balik fenomena ini umumnya didorong oleh kebutuhan somatik untuk memitigasi kejenuhan psikologis akibat tekanan okupasional maupun akademik kontemporer. Sayangnya, lonjakan kuantitas atlet rekreasi ini sering kali tidak diimbangi dengan peningkatan literasi keselamatan dan pengkondisian fisik yang adekuat.Banyak pendaki amatir mengabaikan urgensi kesiapan fisik dasar (*baseline physical readiness*) sebelum melakukan ekspedisi. Ketidaksesuaian fungsional antara kapasitas fisiologis aktual pendaki dan beban mekanis rute gunung berakibat fatal pada tingginya angka morbiditas di pegunungan. Data epidemiologi nasional mendokumentasikan sedikitnya 151 fatalitas pendakian gunung di Indonesia sepanjang periode Januari 2013 hingga Januari 2024. Investigasi etiologis menunjukkan bahwa kelelahan sistemik ekstrem (*extreme systemic fatigue*), kegagalan koordinasi

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

motorik postural, dan kegawatan medis akibat hipoksia ketinggian seperti *Acute Mountain Sickness* (AMS) merupakan pemicu utama dari fatalitas tersebut.

Jalur pendakian Gunung Panderman (2.045 m asl) dan Gunung Buthak (2.868 m asl) di Jawa Timur merepresentasikan karakteristik medan *alpine* teknis dengan deviasi kemiringan yang curam, permukaan berbatu, dan struktur substrat yang labil. Menaklukkan topografi ini menuntut kerja otot eksentrik-konsentrik tungkai bawah secara kontinu, stabilitas otot inti (*core stability*) yang prima, serta kapasitas bufer metabolik yang efisien untuk menahan akumulasi asam laktat. Meskipun risiko medis dan beban fisiologis medan ini sangat nyata, data empiris mengenai profil aktivitas fisik pra-pendakian dan status metabolik fungsional para pendaki rekreasi di jalur Panderman-Buthak masih belum tersedia. Mayoritas studi lokal terdahulu masih terbatas pada aspek tata kelola ekowisata atau motivasi psikososial. Akibatnya, muncul kekosongan data ilmiah (*knowledge gap*) yang signifikan terkait status kesehatan fisik objektif populasi ini. Penggunaan instrumen skrining proksi multi-domain yang tervalidasi sangat penting untuk mengidentifikasi ambang batas fungsional pendaki amatir sebelum mereka terpapar hipoksia ketinggian.

Kebaruan Ilmiah & Orisinalitas (Novelty & Originality)

Penelitian ini tidak sekadar menyajikan data deskriptif tingkat aktivitas harian, melainkan memosisikan akumulasi indeks metabolik standar (*Metabolic Equivalent*/MET-menit/minggu) yang diperoleh dari seluruh domain aktivitas harian (*Global Physical Activity Questionnaire*/GPAQ) sebagai instrumen prediktif dan proksi klinis untuk estimasi kesiapan fisiologis pra-pendakian. Melalui pendekatan dekomposisi domain dan stratifikasi risiko metabolik berbasis gender (*dimorfisme fungsional*), studi ini mengisi kekosongan literatur kedokteran olahraga alam liar (*wilderness sports medicine*) di Indonesia serta menyediakan basis data klinis awal untuk penyusunan protokol penapisan medis (*medical screening*) yang wajib dan terarah bagi komunitas pendaki rekreasi.

METODE

Desain Penelitian

Studi kuantitatif ini menggunakan rancangan deskriptif potong lintang (*cross-sectional*) dengan metode survei lapangan terstruktur. Fokus operasional studi dibatasi pada kuantifikasi, dekomposisi, dan stratifikasi objektif dari variabel proksi kesiapan fisiologis dasar tanpa melakukan manipulasi eksperimental atau intervensi klinis aktif terhadap subjek.

Populasi dan Sampel

Populasi target mencakup seluruh pendaki gunung domestik maupun internasional yang terdaftar secara resmi di pos pemeriksaan registrasi utama Dusun Toyomerto, Desa Pesanggrahan, Kota Batu. Area ini mencatat mobilitas populasi berkisar 1.200 pendaki per bulan. Mengingat tingginya fluktuasi subjek, teknik pengambilan sampel menggunakan pendekatan *non-probability purposive sampling* dengan menerapkan kriteria inklusi dan eksklusi yang ketat demi menjaga homogenitas demografis fungsional. Sampel akhir yang berhasil dihimpun berjumlah 122 responden dewasa muda (88 laki-laki [72,13%] dan 34 perempuan [27,87%]) dengan rentang usia subjek dibatasi secara ketat antara 18 hingga 30 tahun. Pengumpulan data dilakukan secara kontinu selama tiga minggu (26 Mei – 16 Juni 2024). Detail parameter operasional seleksi sampel disajikan pada Tabel 1.

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

Tabel 1. Kriteria Inklusi dan Eksklusi Seleksi Sampel Pendaki

Kriteria Inklusi	Kriteria Eksklusi
1. Berusia dewasa muda (18–30 tahun).	1. Memiliki riwayat penyakit kardiovaskular kronis atau asma akut.
2. Terdaftar sebagai pendaki resmi di pos registrasi Panderman-Buthak.	2. Mengalami cedera muskuloskeletal akut pada tungkai bawah dalam 3 bulan terakhir.
3. Bersedia mengisi kuesioner GPAQ secara lengkap dan sukarela.	3. Menggunakan perangkat bantu ortopedi atau sedang dalam masa rehabilitasi medis.

Instrumentasi dan Pengukuran Fungsional

Instrumen utama yang digunakan adalah *Global Physical Activity Questionnaire* (GPAQ) versi standar WHO untuk memetakan kapasitas pengeluaran energi populasi. GPAQ mengevaluasi durasi (menit) dan frekuensi (hari) aktivitas fisik subjek dalam satu minggu terakhir di tiga domain utama: (1) aktivitas okupasional/ akademik terstruktur, (2) transportasi aktif/mobilitas fisik harian, dan (3) aktivitas rekreasi/olahraga di waktu luang, serta mengukur durasi perilaku menetap (*sedentary behavior*). Instrumen ini memiliki validitas transnasional yang andal, dengan koefisien reliabilitas tinggi (Kappa, $\boldsymbol{\kappa = 0{,}67 - 0{,}73}$) dan validitas konkuren moderat ($\boldsymbol{r = 0{,}48}$) terhadap pengukuran akselerometri objektif.

Kuantifikasi Data dan Analisis Statistik

Data perilaku mentah dikonversi menjadi satuan metabolik standar, yaitu *Metabolic Equivalent* (MET)-menit/minggu. Berdasarkan protokol WHO, koefisien pengeluaran energi spesifik diatur sebagai berikut: aktivitas pekerjaan/rekreasi intensitas berat dinilai sebesar 8,0 MET; aktivitas pekerjaan/rekreasi intensitas sedang dinilai 4,0 MET; dan aktivitas transportasi dinilai sebesar 4,0 MET. Akumulasi volume energi mingguan dihitung menggunakan persamaan standar:

$$\textit{Total Volume MET-menit/minggu} = \sum (\textit{Konstanta MET} \times \textit{Menit/Hari} \times \textit{Hari/Minggu})$$

Data diproses secara komputasi menggunakan IBM SPSS Statistics Versi 27.0. Analisis statistik deskriptif diterapkan untuk memetakan nilai frekuensi absolut, proporsi persentase, rerata (*Mean* / ***M***), dan simpangan baku (*Standard Deviation* / ***SD***) dengan presisi desimal dikonfigurasi hingga dua angka di belakang koma. Sesuai standar klasifikasi epidemiologi WHO, tingkat kapasitas metabolik subjek dibagi menjadi tiga strata risiko fungsional: Status Rendah (Risiko Fungsional Tinggi: < 600 MET-menit/minggu), Status Sedang (Risiko Fungsional Moderat: $\boldsymbol{600 \leq MET < 3.000}$ MET-menit/minggu), dan Status Tinggi (Risiko Fungsional Rendah: $\geq \boldsymbol{3.000}$ MET-menit/minggu).

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

HASIL DAN PEMBAHASAN

Profil Karakteristik Demografis dan Interaksi Fungsional Multi-Domain

Rerata usia dari keseluruhan sampel (***N = 122***) terpusat pada fase perkembangan awal dewasa muda, yaitu ***M = 21,82*** tahun (***SD = 2,34***). Distribusi usia kuantitatif secara detail disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Karakteristik Distribusi Usia Sampel Pendaki Dewasa Muda (N = 122)

Variabel Usia (Tahun)	Frekuensi (n)	Persentase (%)	Cumulative %
18 – 20	42	34,43	34,43
21 – 23	54	44,26	78,69
24 – 26	18	14,75	93,44
27 – 30	8	6,56	100,00

Catatan: Data disajikan dalam bentuk frekuensi absolut (n) dan proporsi persentase (%).

Analisis korelasi perilaku antar-domain mendeteksi sebuah anomali aktivitas fisik yang penting: hanya 9 pendaki (7,38%) dari total sampel global yang mampu menunjukkan konsistensi status aktivitas fisik tinggi secara simultan di ketiga domain (okupasional, transportasi, dan rekreasi). Hasil dekomposisi berbasis gender menunjukkan dimorfisme yang absolut: 100,00% dari sub-populasi yang aktif di semua domain ini diisi oleh pendaki laki-laki (n = 9), sedangkan kelompok perempuan mencatatkan nilai 0,00% (n = 0).

Kuantifikasi Indeks Metabolik dan Stratifikasi Risiko Berbasis Gender

Berdasarkan ambang batas parameter metabolik fungsional, mayoritas sampel global berada pada kategori aman atau risiko fungsional rendah. Namun, dekomposisi data secara demografis mengungkap adanya variabilitas kapasitas fisik yang sangat lebar di antara sub-kelompok gender (Tabel 3 dan Tabel 4).

Tabel 3. Stratifikasi Risiko Metabolik Berdasarkan Tingkat Aktivitas Fisik dan Kelompok Gender

Kategori Aktivitas Fisik (Strata Risiko)	Laki-laki (n = 88)	Perempuan (n = 34)	Total Kohort (N = 122)
Tinggi (Risiko Fungsional Rendah)	76 (86,36%)	23 (67,65%)	99 (81,15%)
Sedang (Risiko Fungsional Moderat)	10 (11,36%)	6 (17,65%)	16 (13,11%)
Rendah (Risiko Fungsional Tinggi)	2 (2,27%)	5 (14,71%)	7 (5,74%)

Catatan: Data diekspresikan sebagai frekuensi absolut dan persentase di dalam kurung [n (%)]. Klasifikasi mengacu pada batas ambang epidemiologi pengeluaran energi WHO.

Tabel 4. Analisis Deskriptif Eksploratif Volume Energi Mingguan (MET-menit/minggu)

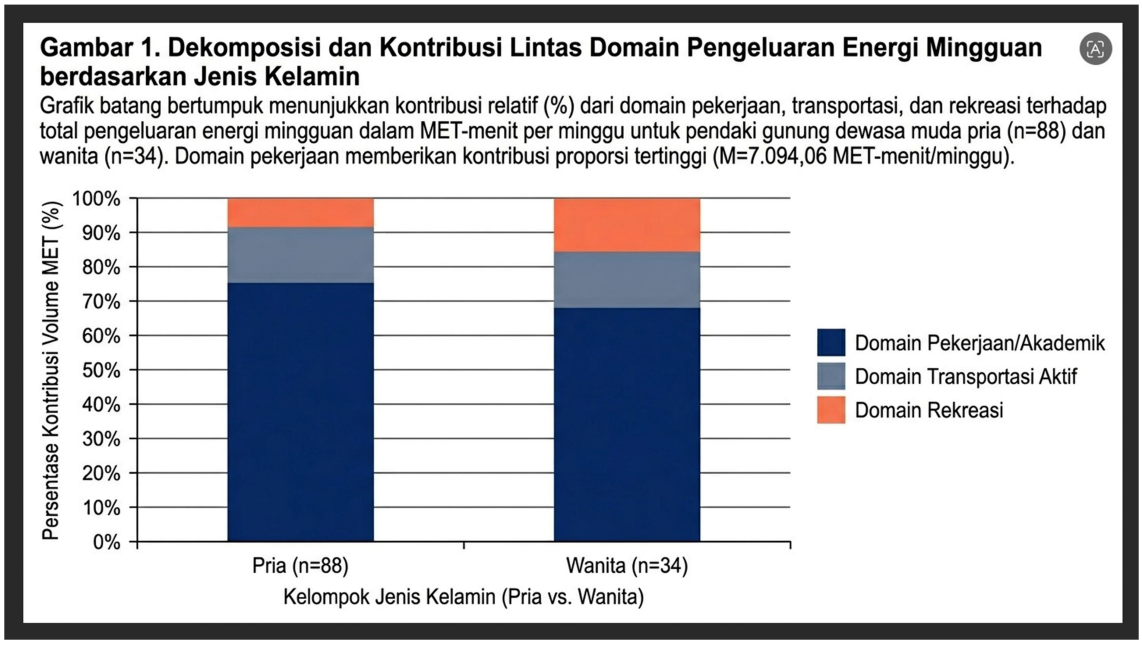
Parameter Statistik	Laki-laki (n = 88)	Perempuan (n = 34)	Total Sampel (N = 122)
Rerata (M)	11.245,50	8.674,12	10.529,34

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

Simpangan Baku (SD)	7.912,45	6.254,10	7.588,38
Nilai Minimum	480,00	320,00	320,00
Nilai Maksimum	28.400,00	22.160,00	28.400,00
Kontributor Domain Utama	Okupasional (74,2%)	Okupasional (61,8%)	Okupasional (7.094,06 MET)

Kontributor domain utama pada kelompok laki-laki mencapai 74,2%, sedangkan kelompok perempuan berada pada angka 61,8% dari total pengeluaran energi mingguan (Tabel 4). Untuk mengurai ketimpangan distribusi metabolik tersebut secara lebih rigid, dekonstruksi visual melalui dekomposisi proporsional volume MET-menit/minggu pada Gambar 1 menyajikan komparasi lintas domain (okupasional, transportasi, dan rekreasi) yang mempertegas adanya fenomena dimorfisme fungsional yang kontras antara populasi pendaki pria dan wanita

Gambar 1, memetakan variabel kelompok gender pada Sumbu X dan persentase kontribusi volume MET pada Sumbu Y. Pola visualisasi membagi tiga warna kontras: *Domain Okupasional/Akademik* (Navy Blue), *Domain Transportasi Aktif* (Slate Grey), dan *Domain Rekreasi* (Coral Orange), memperlihatkan dominasi masif domain okupasional (*M = 7.094,06* MET-menit/minggu) secara grafis lintas kelompok.



Karakteristik demografis subjek riset ini mengonfirmasi teori sosiologi olahraga kontemporer, di mana lanskap petualangan alam bebas di pegunungan sangat didominasi oleh kelompok usia muda (***M = 21,82*** tahun). Eksplorasi dataran tinggi bertindak sebaga mekanisme kompensasi somatik-psikologis untuk mereduksi stres kognitif akibat rutinitas perkotaan yang monoton. Fenomena sosiologis ini mendasari pentingnya memisahkan status fungsional atlet rekreasi dari kelompok atlet profesional, mengingat latar belakang pengkondisian fisik keduanya yang sangat kontras.

Dari aspek kedokteran olahraga, dominasi status aktivitas fisik kategori "Tinggi" (81,15% pada skala makro) merupakan indikator proksi yang sangat positif bagi tata

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

laksana manajemen medis di alam liar (*wilderness medicine risk management*). Stimulus mekanis kronis yang berasal dari tingginya volume pengeluaran energi mingguan secara berkala memicu proses adaptasi kardiorespirasi secara sistemik. Individu dengan kapasitas aktivitas tinggi harian yang konsisten umumnya memiliki efisiensi kinetika penyerapan oksigen yang superior ($\dot{V}O_2max$), hipertrofi eksentrik ventrikel kiri (meningkatkan *stroke volume*), dan densitas kapiler otot rangka yang lebih padat. Keuntungan fisiologis ini memastikan pasokan oksigen dalam kondisi stabil (*steady state*) ke sistem muskuloskeletal yang bekerja keras selama pendakian, menaikkan ambang batas anaerobik, serta menunda akumulasi asam laktat penyebab kelelahan prematur dan hilangnya stabilitas postural.

Temuan paling orisinal dari riset ini ditunjukkan oleh hasil dekomposisi domain aktivitas fisik menggunakan instrumen GPAQ. Data menunjukkan bahwa aktivitas fisik okupasional/akademik terstruktur harian merupakan kontributor tunggal paling dominan terhadap akumulasi energi mingguan, dengan kontribusi rerata mencapai 7.094,06 MET-menit/minggu. Fakta klinis ini membuktikan sebuah fenomena penting: fondasi adaptasi fisiologis dasar yang dimiliki oleh para pendaki rekreasi di jalur Panderman-Buthak bukan ditopang oleh program latihan atau pelatihan olahraga terstruktur yang khusus dirancang untuk mendaki, melainkan terbentuk secara insidental melalui beban aktivitas fisik dari rutinitas kerja dan studi harian mereka.

Sebaliknya, keberadaan subpopulasi risiko tinggi dengan status aktivitas rendah (5,74% populasi global; melonjak hingga 14,71% khusus pada kelompok perempuan) memicu alarm kewaspadaan klinis yang serius bagi keselamatan pendakian. Kelompok *sedentary* ini tidak memiliki cadangan fungsional kardiorespirasi kronis yang memadai untuk mentoleransi stres hipoksia di ketinggian. Ketika terpapar penurunan tekanan parsial oksigen ($\boldsymbol{PO_2}$) di lingkungan gunung, sistem kardiovaskular mereka yang tidak terlatih gagal memicu kompensasi ventilasi dan fleksibilitas volume sekuncup (*stroke volume*) yang memadai. Keterbatasan kapasitas metabolik ini mempercepat timbulnya iskemia jaringan lokal, kelelahan sistemik ekstrem, hilangnya kendali neuromuskular (meningkatkan risiko jatuh fatal), serta memicu patofisiologi penyakit ketinggian akut (*Acute Mountain Sickness*/AMS).

Temuan adanya kesenjangan dimorfisme gender yang lebar—di mana kelompok wanita lebih heterogen dan memiliki proporsi risiko tinggi yang signifikan—menegaskan kebutuhan kritis untuk menghentikan generalisasi regulasi keselamatan di basecamp. Hasil ini memperkuat urgensi penerapan penapisan klinis (*clinical screening*) pra-ekspedisi yang terarah, wajib, dan objektif untuk memilah pendaki yang membutuhkan intervensi pengkondisian fisik sebelum diizinkan melakukan pendakian di medan teknis.

Keterbatasan Penelitian

Meskipun memberikan data proksi fungsional yang berharga, penelitian deskriptif potong lintang ini bergantung pada instrumen kuesioner yang dilaporkan sendiri (*self-reported questionnaire*). Karakteristik instrumen ini memiliki kelemahan bawaan berupa risiko bias ingatan (*recall bias*) dan kecenderungan perkiraan berlebih (*overestimation*) durasi aktivitas oleh subjek. Selain itu, GPAQ belum mampu mengalkulasi beban biomekanis eksternal spesifik pendakian, seperti distribusi berat beban tas punggung (*backpacking load*) dan resistensi kinematik saat menempuh jalur tanah berpasir yang tidak stabil.

KESIMPULAN

Simpulan

Mayoritas pendaki gunung rekreasi dewasa muda di rute Gunung Panderman-

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

Buthak memiliki kapasitas aktivitas fisik harian yang tinggi, yang secara insidental dibentuk oleh domain rutinitas okupasional dan akademik. Kondisi ini menyediakan fondasi adaptasi fisiologis awal yang menopang ketahanan metabolik pra-pendakian. Namun, identifikasi minoritas yang kurang aktif—terutama terkonsentrasi pada kelompok pendaki perempuan—mengungkap adanya subpopulasi rentan yang memiliki risiko tinggi mengalami kedaruratan medis akibat keterbatasan cadangan fungsional kardiorespirasi saat menghadapi stres lingkungan di ketinggian.

Rekomendasi Klinis dan Metodologis

Intervensi Pengkondisian Fisik Terarah: Pendaki yang teridentifikasi berada dalam kategori risiko metabolik tinggi (aktivitas fisik rendah < 600 MET-menit/minggu) diwajibkan menyelesaikan program latihan prakondisi terstruktur minimal 2–4 minggu sebelum melakukan pendakian. Program pengkondisian wajib difokuskan pada latihan aerobik progresif kontinu (seperti bersepeda atau berlari) untuk memicu adaptasi volume sekuncup dan $\dot{V}O_2max$, dikombinasikan dengan latihan beban resistensi isometrik-eksentrik (seperti *plank*, *lunges*, dan *bodyweight squats*) untuk memperkuat daya tahan otot inti dan stabilitas fungsional sendi tungkai bawah.

Peningkatan Metodologi Riset Masa Depan: Untuk penelitian selanjutnya, disarankan melakukan lompatan metodologis dengan mengintegrasikan instrumen penilaian kebugaran klinis objektif di lapangan (seperti *Harvard Step Test* atau uji beban ergometer) serta pemantauan fisiologis waktu-nyata (*real-time biomonitoring*) menggunakan sensor portabel untuk melacak dinamika saturasi oksigen darah perifer (SpO_2) dan variabilitas denyut jantung (*Heart Rate Variability*/HRV) sepanjang lintasan pendakian guna membangun model prediktif keselamatan pendakian yang komprehensif.

DAFTAR PUSTAKA

Abdul Aziz, N. A., Jaafar, N. J., Raman, T. L., Ramlan, M. A., Saikim, F. H., & Nordin, N. M. (2023). Climbers' preparation before hiking: The case of Gunung Nuang. The Malaysian Forester, 86(1), 115–124.

Adhitya, S. D. (2016). Tingkat aktivitas fisik operator layanan internet mahasiswa Universitas Negeri Yogyakarta. Jurnal Pendidikan Jasmani, Kesehatan dan Rekreasi, 5*(2), 45–56.

Adidharma, N. (2016). Karakteristik tingkat kebugaran kardiorespirasi siswa kelas 6 SD di Desa Mengwitani tahun 2014. E-Jurnal Medika Udayana, 5(5), 1–8.

Alihusni Wardana, R., Kahar, S., & Suprayogi, A. (2015). Penyajian peta jalur pendakian Gunung Rinjani berbasis platform Android. Jurnal Geodesi UNDIP, 4(2), 110–120.

Ardianto, F., & Junaidi, S. S. (2015). Profil denyut nadi di ketinggian yang berbeda pada pendaki Gunung Merbabu. Journal of Sport Sciences and Fitness, 4(2), 34–41.

Arikunto, S. (2018). Prosedur penelitian: Suatu pendekatan praktik (Revised ed.). Rineka Cipta.

Baharudin, L. (2016). Hubungan antara aktivitas olahraga dengan kemampuan gerak dasar siswa (Studi pada siswa kelas IV, V dan VI SD Negeri 7 Sidokumpul Gresik). Jurnal Pendidikan Olahraga dan Kesehatan, 4(1), 120–127.

Bull, F. C., Maslin, T. S., & Armstrong, T. (2009). Global physical activity questionnaire (GPAQ): Nine country reliability and validity study. Journal of Physical Activity and Health, 6(6), 790–799. https://doi.org/10.1123/jpah. 6.6.790

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

Ebert, P. A., & Robertson, S. (2013). A plea for risk. Royal Institute of Philosophy Supplement, 73, 45–61. https:// doi.org/10.1017/s1358246113000271

Farid Prasetyo Manggala Putra, S., Setyaningsih, P., & Santoso, D. A. (2020). Analisis persiapan fisik pendakian Gunung Ijen dan Gunung Ranti di Kabupaten Banyuwangi. Jurnal Pendidikan Jasmani (JPJ), 1(2), 88–97. https:// doi.org/10.55081/jpj.v1i2.134

Fitria, S., & Muslim, F. (2023). Motivasi mahasiswa dalam mendaki Gunung Gamalama sebagai wisata minat khusus (Studi kasus mahasiswa di Universitas Khairun, Universitas Muhammadiyah dan STIKIP). TOBA: Journal of Tourism, Hospitality and Destination, 2(4), 127–131.

Haskell, W. L., Lee, I. M., Pate, R. R., Powell, K. E., Blair, S. N., Franklin, B. A., Macera, C. A., Heath, G. W., Thompson, P. D., & Bauman, A. (2007). Physical activity and public health: Updated recommendation for adults from the American College of Sports Medicine and the American Heart Association. Circulation, 116(9), 1081–1093. https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.107.185649

Howley, E. T. (2001). Type of activity: Resistance, aerobic and leisure versus occupational physical activity. Medicine and Science in Sports and Exercise, 33(6 Suppl), 364–369. https://doi.org/10.1097/00005768-200106001-00005

Izam Zahary, M. (2015). Kajian risiko cedera dan masalah umum pendaki mahasiswa Universitas Udayana. Intisari Sains Medis, 2(1), 12–18. https://doi.org/10.15562/ism.v2i1.84

Maksum, A. (2018). Metodologi penelitian dalam olahraga. CV Jejak.

Palar, C. M., Wongkar, D., & Ticoalu, S. H. R. (2015). Manfaat latihan olahraga aerobik terhadap kebugaran fisik manusia. Jurnal e-Biomedik, 3(1), 316–321. https://doi.org/10.35790/ebm.3.1.2015.7127

Permatasari, T., & Sidarta, N. (2021). Hubungan tingkat aktivitas fisik dengan acute mountain sickness pada pendaki gunung. Jurnal Biomedika dan Kesehatan, 4(3), 106–112. https://doi.org/10.18051/jbiomedkes.2021.v4.106-112

Pratama, I. G. Y. (2021). Kajian estetika sandal gunung sebagai trend masa kini. Jurnal Da Moda, 2(2), 54–60. https:// doi.org/10.35886/damoda.v2i2.188

Romdhoni, M. (2022). Studi pemahaman konsep pendaki pemula terhadap kebutuhan nutrien terhadap pendakian. Jurnal PADE: Pengabdian & Edukasi, 4(2), 76–81. https://doi.org/10.30867/pade.v4i2.605

Subarjah, H. (2019). Hubungan tingkat kebugaran jasmani dengan aklimatisasi pendaki gunung. Jurnal Olahraga, 5(1), 15–23. https://doi.org/10.37742/jo.v5i1.97

Sugiyono. (2016). Metode penelitian kuantitatif, kualitatif dan R&D. Alfabeta. Winarno. (2013). Metodologi penelitian dalam pendidikan jasmani. UM Press.

Zürcher, S., Jackowski, C., & Schön, C. A. (2020). Circumstances and causes of death of hikers at different altitudes: A retrospective analysis of hiking fatalities from 2003–2018. Forensic Science International, 310, 110–125. https:// doi.org/10.1016/j.forsciint.2020.110252