



Mekanisme Adaptasi Manusia dalam Lingkungan Ekstrem pada Matra Darat, Laut, dan Udara: Literature Review

Dela Riadi

Fakultas Kedokteran, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta, DKI Jakarta, Indonesia

Email: delariadi@upnvj.ac.id

Abstract

Extreme environments across land, sea, and air domains expose individuals to challenges such as hypoxia, extreme temperatures, pressure changes, isolation, and physical and psychological stress that may affect health and performance. Human adaptation to these conditions involves complex interactions among biological, psychological, social, and spiritual dimensions. However, adaptation mechanisms are often examined separately, requiring a more comprehensive understanding. This study aimed to review human adaptation mechanisms in extreme environments and their implications for military medicine, preventive medicine, occupational health, and operational settings. This study employed a literature review approach to identify, analyze, and synthesize scientific evidence regarding human adaptation mechanisms in extreme environments. The review included original research articles and relevant scientific reports discussing biological, psychological, social, and spiritual aspects among human populations. Only full-text articles in English or Indonesian were included. Biological adaptation includes ventilation regulation, erythropoiesis, thermoregulation, and cardiovascular-respiratory adjustments. Psychological adaptation through coping strategies and emotional regulation reduces stress, while communication, team cohesion, and leadership support social adaptation. Spirituality enhances meaning, hope, and resilience. Human adaptation in extreme environments is a multidimensional process requiring a holistic biopsychosocial-spiritual approach to improve preparedness, health, and resilience among individuals and groups.

Keywords: Human Adaptation, Extreme Environments, Land Domain, Sea Domain, Air Domain, Military Medicine.

Abstrak

Lingkungan ekstrem pada matra darat, laut, dan udara menghadirkan tantangan berupa hipoksia, suhu ekstrem, perubahan tekanan, isolasi, serta stres fisik dan psikologis yang dapat memengaruhi kesehatan dan performa individu. Adaptasi manusia terhadap kondisi tersebut melibatkan interaksi kompleks antara aspek biologis, psikologis, sosial, dan spiritual. Namun, kajian mengenai mekanisme adaptasi manusia masih sering dilakukan secara parsial sehingga diperlukan pemahaman yang lebih komprehensif. Penelitian ini bertujuan meninjau mekanisme adaptasi manusia dalam lingkungan ekstrem pada matra darat, laut, dan udara serta implikasinya terhadap kedokteran matra, kesehatan preventif, kesehatan militer, dan kesehatan kerja. Penelitian menggunakan metode literature review

Penulis Korespondensi:

Dela Riadi | delariadi@upnvj.ac.id

untuk mengidentifikasi, menganalisis, dan mensintesis bukti ilmiah terkait mekanisme adaptasi manusia di lingkungan ekstrem. Kajian dilakukan terhadap laporan ilmiah yang relevan mencakup aspek biologis, psikologis, sosial, dan spiritual pada populasi manusia. Artikel yang digunakan berbahasa Indonesia atau Inggris serta tersedia dalam full text. Adaptasi biologis meliputi regulasi ventilasi, eritropoiesis, termoregulasi, dan penyesuaian kardiovaskular-respirasi. Adaptasi psikologis melalui strategi koping dan regulasi emosi membantu mengurangi stres, sedangkan komunikasi, kohesi tim, dan kepemimpinan mendukung adaptasi sosial. Spiritualitas berperan dalam meningkatkan makna hidup, harapan, dan resiliensi. Adaptasi manusia di lingkungan ekstrem merupakan proses multidimensional yang membutuhkan pendekatan biopsikososial-spiritual secara holistik untuk meningkatkan kesiapsiagaan, kesehatan, dan ketahanan individu maupun kelompok.

Kata Kunci: Adaptasi Manusia, Lingkungan Ekstrem, Matra Darat, Matra Laut, Matra Udara, Kedokteran Matra.

PENDAHULUAN

Perubahan lingkungan global, perkembangan teknologi, meningkatnya mobilitas manusia, serta kompleksitas tuntutan kerja telah memperluas paparan individu terhadap lingkungan ekstrem. Lingkungan tersebut mencakup kondisi darat, laut, dan udara yang ditandai oleh suhu ekstrem, hipoksia, perubahan tekanan, isolasi, keterbatasan sumber daya, serta tekanan fisik dan psikologis yang tinggi. Paparan terhadap kondisi tersebut dapat menimbulkan berbagai konsekuensi kesehatan, mulai dari gangguan fisiologis hingga dampak psikososial yang memengaruhi kualitas hidup dan kemampuan individu dalam menjalankan fungsi sehari-hari (Burtscher et al., 2018; Ebi et al., 2020; Roy et al., 2023).

Organisasi Perburuan Internasional melaporkan lebih dari 2,78 juta kematian setiap tahun karena kecelakaan kerja, dengan 374 juta cedera non-fatal. Nelayan, misalnya, menghadapi prevalensi kecelakaan kerja 70,8%, terutama cedera (Suhartoyo et al., 2022). Suhu ekstrem memperburuk risiko ini, dengan peningkatan 7,4% dalam kecelakaan pada hari-hari panas dan peningkatan 6,3% pada hari yang dingin (C&EN, 2025). Meningkatnya kecelakaan tersebut berkontribusi terhadap peningkatan biaya perawatan kesehatan dan penurunan produktivitas tenaga kerja, terutama pada sektor-sektor berisiko tinggi seperti perikanan dan pertambangan (Tveita et al., 2022).

Kemampuan manusia untuk bertahan dalam lingkungan yang menantang bergantung pada proses adaptasi yang kompleks dan multidimensional. Dari sisi biologis, tubuh menunjukkan berbagai respons fisiologis untuk mempertahankan homeostasis, seperti peningkatan ventilasi dan eritropoiesis pada kondisi hipoksia di dataran tinggi, termoregulasi pada paparan panas, serta penyesuaian sistem kardiovaskular dan respirasi pada perubahan tekanan di lingkungan laut maupun udara (Villafuerte et al., 2022; Richalet et al., 2023).

Namun, tantangan lingkungan ekstrem tidak hanya bersifat fisik. Paparan berkepanjangan terhadap tekanan lingkungan dapat berdampak signifikan terhadap fungsi psikologis individu, termasuk meningkatnya kecemasan, gangguan tidur, stres kronis, depresi ringan, serta penurunan fungsi kognitif dan emosional (Brandt et al., 2022; Sullivan et al., 2023). Pada kelompok tertentu seperti personel militer, tenaga kesehatan, astronaut, penyelam, dan pekerja kemanusiaan, kemampuan regulasi emosi, strategi koping, dan resiliensi psikologis menjadi komponen penting untuk mempertahankan performa dan kesejahteraan mental di bawah tekanan tinggi (Jha et al., 2017; Roy et al., 2023).

Selain itu, dimensi sosial memainkan peran yang tidak kalah penting dalam mendukung kemampuan adaptasi manusia. Lingkungan terbatas dan berisiko tinggi sering kali menuntut kerja sama intensif dalam tim kecil, sehingga kualitas komunikasi, kohesi kelompok, kepemimpinan, dan kepercayaan interpersonal menjadi faktor penentu efektivitas kerja serta keberlangsungan fungsi kolektif (Palinkas & Suedfeld, 2021; Verwijs & Russo, 2023). Konflik interpersonal, miskomunikasi, atau lemahnya dukungan sosial dapat memperburuk tekanan psikologis dan menurunkan efektivitas operasional, terutama dalam konteks militer, respons bencana, maupun pelayanan kesehatan (Drabek, 2011).

Di samping faktor biologis, psikologis, dan sosial, spiritualitas semakin diakui sebagai komponen penting dalam membangun ketahanan individu. Spiritualitas membantu individu mempertahankan makna hidup, optimisme, dan harapan saat menghadapi kesulitan. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa praktik spiritual seperti doa, meditasi, refleksi diri, dan keterlibatan dalam komunitas religius berkaitan dengan peningkatan kesejahteraan psikologis, penurunan stres, serta kemampuan adaptasi yang lebih baik pada kondisi penuh tekanan (Manning et al., 2018; Schwalm et al., 2021; Graça & Brandão, 2024). Dalam lingkungan kerja dengan risiko tinggi, integrasi aspek spiritual semakin dipandang sebagai bagian penting dari pendekatan kesehatan holistik (Chirico et al., 2020).

Meskipun penelitian mengenai adaptasi manusia di lingkungan ekstrem telah berkembang pesat, sebagian besar studi masih cenderung membahas aspek biologis, psikologis, sosial, atau spiritual secara terpisah. Pendekatan yang terfragmentasi tersebut menyebabkan keterbatasan dalam memahami bagaimana berbagai dimensi tersebut saling berinteraksi dalam mendukung ketahanan manusia secara menyeluruh. Padahal, respons individu terhadap tekanan lingkungan merupakan hasil integrasi berbagai faktor yang bekerja secara simultan dan dinamis (Clément, 2025; Patterson et al., 2025).

Hingga saat ini, masih terbatas kajian yang secara komprehensif merangkum mekanisme adaptasi manusia berdasarkan pendekatan biopsikososial-spiritual dalam konteks lingkungan ekstrem, khususnya yang relevan dengan praktik kedokteran matra, kedokteran preventif, kesehatan militer, dan kesehatan kerja. Oleh karena itu, literature review ini dilakukan untuk mengintegrasikan berbagai temuan ilmiah mengenai mekanisme fisiologis, psikologis, sosial, dan spiritual yang mendukung kemampuan adaptasi manusia dalam kondisi lingkungan ekstrem.

Artikel ini bertujuan untuk meninjau secara komprehensif berbagai mekanisme adaptasi manusia terhadap tekanan lingkungan ekstrem pada matra darat, laut, dan udara, serta mengidentifikasi implikasinya terhadap promosi kesehatan, pencegahan penyakit, dan penguatan ketahanan individu maupun kelompok. Dengan memahami adaptasi manusia secara holistik, diharapkan dapat dikembangkan strategi kesehatan yang lebih integratif, preventif, dan adaptif dalam menghadapi tantangan kesehatan di lingkungan yang semakin kompleks.

METODE

Penelitian ini menggunakan metode literature review untuk mengidentifikasi, menganalisis, dan mensintesis berbagai bukti ilmiah mengenai mekanisme adaptasi manusia dalam menghadapi lingkungan ekstrem, khususnya pada dimensi biologis, psikologis, sosial, dan spiritual. Pendekatan ini dipilih untuk memperoleh pemahaman yang komprehensif mengenai berbagai mekanisme adaptasi yang relevan dalam konteks kedokteran matra, kedokteran preventif, kesehatan militer, kesehatan kerja, serta lingkungan operasional dengan tingkat tekanan tinggi.

Penelusuran literatur dilakukan melalui basis data ilmiah Scopus, PubMed, ScienceDirect, dan Google Scholar menggunakan kombinasi kata kunci “extreme environment” OR “environmental stress” AND “human adaptation” OR “physiological adaptation” AND “military medicine” OR “occupational health” AND “psychological adaptation” OR “stress response”. Proses seleksi artikel mengikuti prinsip yang disesuaikan dengan kerangka PRISMA untuk meningkatkan transparansi dan reproduktibilitas. Kriteria inklusi mencakup artikel jurnal asli, systematic review, dan review article yang dipublikasikan pada rentang tahun 2000–2026, berbahasa Inggris maupun Indonesia, serta tersedia dalam teks lengkap (Rahmadina et al., 2026; Riadi et al., 2025). Sementara itu, kriteria eksklusi meliputi editorial, opini, letter to editor, studi non-manusia, serta artikel yang tidak relevan dengan fokus adaptasi atau lingkungan ekstrem.

Karena penelitian ini merupakan kajian literatur yang menggunakan data sekunder dari publikasi ilmiah, maka tidak diperlukan persetujuan etik penelitian. Namun demikian, seluruh proses penulisan tetap mengikuti prinsip integritas akademik dengan memastikan setiap sumber yang digunakan disitasi secara tepat.

HASIL

Hasil dari peninjauan literatur menunjukkan bahwa adaptasi manusia dalam lingkungan ekstrem merupakan proses yang bersifat multidimensional dan melibatkan interaksi kompleks antara mekanisme biologis, psikologis, sosial, dan spiritual. Berbagai studi yang dianalisis menunjukkan bahwa keempat dimensi tersebut tidak berdiri sendiri, melainkan saling memengaruhi dalam menentukan kemampuan individu untuk bertahan dan tetap berfungsi pada kondisi lingkungan yang menantang.

Dalam konteks kesehatan masyarakat, temuan ini menegaskan bahwa kegagalan adaptasi pada lingkungan ekstrem tidak hanya berdampak pada individu, tetapi juga berkontribusi terhadap peningkatan beban kesehatan dan keselamatan kerja pada sektor-sektor berisiko tinggi seperti perikanan, pertambangan, sektor penerbangan, militer, dan penanggulangan bencana. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan promotif dan preventif yang lebih terintegrasi, yang tidak hanya berfokus pada aspek fisik dan biologis, tetapi juga mencakup dukungan psikologis, dinamika sosial di tempat kerja, serta aspek spiritual sebagai bagian dari upaya memperkuat ketahanan tenaga kerja dan menurunkan risiko kecelakaan kerja.

Adaptasi Biologis sebagai Fondasi Fisiologis

Sebagian besar literatur menekankan bahwa mekanisme adaptasi biologis merupakan respons utama tubuh dalam menghadapi stres lingkungan ekstrem. Pada kondisi hipoksia di dataran tinggi, tubuh merespons dengan peningkatan ventilasi, peningkatan produksi eritropoietin, dan peningkatan massa eritrosit untuk mempertahankan transportasi oksigen (Villafuerte et al., 2022; Richalet et al., 2023). Pada paparan panas ekstrem, mekanisme termoregulasi seperti peningkatan keringat dan vasodilatasi perifer menjadi penting untuk mencegah hipertermia. Sementara itu, pada lingkungan laut dan udara, adaptasi sistem kardiovaskular dan respirasi berperan dalam menjaga stabilitas hemodinamik di bawah perubahan tekanan dan gaya gravitasi (Pendergast et al., 2015; Goswami et al., 2021).

Temuan ini menunjukkan bahwa tubuh manusia memiliki kapasitas adaptif yang tinggi, namun tetap memiliki batas fisiologis tertentu yang apabila terlampaui dapat meningkatkan risiko penyakit terkait lingkungan, seperti exertional heat illness dan hipoksia berat.

Adaptasi Psikologis dan Resiliensi Mental

Literatur juga menunjukkan bahwa lingkungan ekstrem memberikan beban psikologis yang signifikan. Kondisi seperti isolasi sosial, keterbatasan ruang, tekanan tugas, dan ketidakpastian operasional berkontribusi terhadap munculnya gangguan tidur, kecemasan, stres kronis, dan penurunan fungsi kognitif (Brandt et al., 2022; Sullivan et al., 2023). Namun demikian, individu dengan tingkat resiliensi psikologis yang lebih tinggi menunjukkan kemampuan adaptasi yang lebih baik.

Strategi koping adaptif seperti mindfulness, regulasi emosi, reframing kognitif, dan pelatihan mental terbukti meningkatkan stabilitas psikologis dalam situasi tekanan tinggi. Studi pada personel militer dan astronaut menunjukkan bahwa pelatihan mental secara sistematis dapat meningkatkan fokus, pengambilan keputusan, serta ketahanan terhadap stres operasional (Jha et al., 2017; Roy et al., 2023).

Adaptasi Sosial dan Dinamika Kelompok

Hasil kajian menunjukkan bahwa adaptasi sosial merupakan faktor penentu penting dalam keberhasilan fungsi individu maupun kelompok di lingkungan terbatas. Dalam tim kecil, seperti unit militer, tim medis darurat, atau kru ekspedisi, kualitas komunikasi, kohesi kelompok, dan kepercayaan interpersonal sangat memengaruhi efektivitas kerja (Palinkas & Suedfeld, 2021; Verwijs & Russo, 2023).

Konflik interpersonal yang tidak dikelola dengan baik dapat menurunkan performa tim dan meningkatkan stres individu, sedangkan kepemimpinan yang efektif dan komunikasi terbuka dapat memperkuat koordinasi dan stabilitas emosional kelompok. Dengan demikian, adaptasi sosial tidak hanya bersifat suportif, tetapi juga determinan utama dalam menjaga keberlangsungan fungsi kolektif di lingkungan ekstrem.

Resiliensi Spiritual sebagai Sumber Makna dan Ketahanan

Temuan literatur menunjukkan bahwa spiritualitas memainkan peran penting dalam memberikan makna, harapan, dan stabilitas emosional dalam kondisi sulit. Praktik spiritual seperti doa, meditasi, refleksi diri, dan keterlibatan dalam komunitas keagamaan berkaitan dengan peningkatan kesejahteraan psikologis, penurunan stres, serta peningkatan kemampuan koping (Manning et al., 2018; Schwalm et al., 2021).

Individu dengan tingkat resiliensi spiritual yang lebih tinggi cenderung lebih mampu memaknai kesulitan sebagai bagian dari proses adaptasi, sehingga meningkatkan ketahanan psikologis dan emosional. Hal ini terutama terlihat pada populasi dengan paparan stres tinggi seperti tenaga kesehatan, personel militer, dan pekerja kemanusiaan.

Integrasi Dimensi Adaptasi

Secara keseluruhan, hasil review menunjukkan bahwa adaptasi manusia tidak dapat dijelaskan secara parsial. Keempat dimensi—biologis, psikologis, sosial, dan spiritual—membentuk suatu sistem yang saling berhubungan. Ketidakseimbangan pada salah satu dimensi dapat memengaruhi dimensi lainnya, sehingga menurunkan kapasitas adaptasi secara keseluruhan.

Temuan ini menegaskan pentingnya pendekatan holistik dalam memahami dan mengelola kesehatan manusia di lingkungan ekstrem, khususnya dalam konteks kedokteran matra, kedokteran preventif, dan kesehatan kerja.

PEMBAHASAN

Hasil tinjauan literatur ini menunjukkan bahwa kemampuan manusia untuk bertahan dalam lingkungan ekstrem merupakan proses multidimensional yang melibatkan interaksi kompleks antara mekanisme biologis, psikologis, sosial, dan spiritual (Burtscher

et al., 2018; Ilardo & Nielsen, 2018; Michel et al., 2021). Adaptasi fisiologis seperti eritropoiesis, regulasi ventilasi, serta perubahan kardiovaskular merupakan respons dasar tubuh dalam menghadapi hipoksia, suhu ekstrem, dan tekanan lingkungan yang berubah (Villafuerte et al., 2022; Richalet et al., 2023).

Dalam konteks lingkungan darat ekstrem seperti dataran tinggi, tubuh manusia menunjukkan kemampuan aklimatisasi melalui peningkatan kapasitas transport oksigen dan efisiensi metabolisme, yang memungkinkan kelangsungan fungsi organ vital meskipun dalam kondisi hipoksia (Moya, 2022; She & Qu, 2025). Mekanisme ini tidak berdiri sendiri, tetapi juga dipengaruhi oleh faktor genetik pada populasi yang telah lama beradaptasi dengan lingkungan tersebut, seperti yang ditemukan pada komunitas dataran tinggi di Tibet dan Andes (Ilardo & Nielsen, 2018; Witt & Huerta-Sánchez, 2019).

Selain adaptasi fisiologis, aspek psikologis memainkan peran penting dalam mempertahankan fungsi individu di lingkungan ekstrem, terutama pada kondisi isolasi berkepanjangan seperti ekspedisi kutub atau misi luar angkasa (Palinkas & Suedfeld, 2021; Roy et al., 2023). Stres psikologis yang timbul dari keterbatasan ruang, monotoninya lingkungan, dan tekanan tugas dapat memicu gangguan tidur, kecemasan, dan penurunan performa kognitif jika tidak dikelola dengan baik (Brandt et al., 2022; Sullivan et al., 2023).

Strategi coping adaptif seperti regulasi emosi, mindfulness, dan dukungan sosial terbukti mampu mengurangi dampak negatif stres lingkungan ekstrem terhadap kesehatan mental individu (Chaaya et al., 2025; Fischer et al., 2021). Sebaliknya, coping maladaptif dapat memperburuk kondisi psikologis dan meningkatkan risiko disfungsi interpersonal dalam kelompok kecil yang bekerja di lingkungan terbatas (Holt-Gosselin et al., 2021; Abidin et al., 2025).

Dinamika kelompok menjadi faktor krusial dalam menentukan keberhasilan adaptasi sosial di lingkungan ekstrem, terutama pada tim dengan interaksi intensif seperti militer, astronaut, dan tim penyelamat bencana (Kjærgaard et al., 2015; Palinkas & Suedfeld, 2021). Kohesi tim, komunikasi efektif, dan kepercayaan interpersonal terbukti meningkatkan kinerja kolektif dan ketahanan psikologis anggota kelompok (Verwijs & Russo, 2023; Triana et al., 2020).

Namun demikian, keberagaman individu dalam tim juga dapat menjadi sumber konflik apabila tidak dikelola dengan baik, terutama dalam situasi tekanan tinggi (Dreu & Vianen, 2001; Pavez et al., 2021). Konflik yang tidak terselesaikan dapat menurunkan efektivitas kerja dan merusak stabilitas kelompok, sedangkan konflik yang dikelola secara konstruktif dapat mendorong inovasi dan peningkatan kinerja (Lee et al., 2019; Hu et al., 2017).

Dalam dimensi yang lebih luas, aspek spiritual terbukti memberikan kontribusi signifikan terhadap ketahanan individu dalam menghadapi stres ekstrem (Nelson-Becker & Thomas, 2020; Manning et al., 2018). Spiritualitas membantu individu menemukan makna dalam penderitaan, mempertahankan harapan, serta memperkuat motivasi untuk bertahan dalam kondisi sulit (Baykal, 2021; Schwalm et al., 2021).

Praktik spiritual seperti doa, meditasi, dan refleksi juga berkontribusi pada regulasi emosi dan peningkatan kesejahteraan psikologis, terutama dalam populasi berisiko tinggi seperti tenaga kesehatan dan personel militer (Gonçalves et al., 2015; Chirico et al., 2020; Bilosevych et al., 2025). Selain itu, keterlibatan dalam komunitas spiritual memberikan dukungan sosial yang memperkuat resiliensi individu melalui rasa keterhubungan dan solidaritas (VanderWeele, 2017; Davis & Kiang, 2016).

Pendekatan biopsikososial-spiritual dalam kesehatan menunjukkan bahwa integrasi keempat dimensi tersebut menghasilkan model adaptasi yang lebih komprehensif dibandingkan pendekatan biologis semata (Zale et al., 2018; Kovačević et al., 2024).

Model ini sangat relevan dalam konteks kedokteran militer, kedokteran antariksa, dan sistem kesehatan bencana yang menuntut ketahanan tinggi dari individu dan sistem (Clément, 2025; Pagnini et al., 2024).

Lebih lanjut, intervensi berbasis pendidikan dan pelatihan terbukti meningkatkan kesiapan individu dalam menghadapi lingkungan ekstrem melalui penguatan keterampilan coping dan kesadaran diri (Dewi et al., 2025; Nguyen et al., 2023). Program multidisipliner yang menggabungkan aspek fisik, psikologis, dan spiritual juga terbukti meningkatkan efektivitas adaptasi dan kualitas hidup individu (Okan et al., 2025; Wang et al., 2025).

Dalam konteks kesehatan masyarakat dan sistem kesehatan militer, pendekatan holistik juga berperan dalam meningkatkan kesiapsiagaan dan respons terhadap situasi krisis seperti bencana dan konflik (Adirim, 2019; King, 2019). Sistem triase dan koordinasi lintas disiplin menjadi komponen penting dalam memastikan efektivitas pelayanan kesehatan di lingkungan dengan sumber daya terbatas (Azizpour, 2022).

Secara keseluruhan, literatur yang dianalisis menunjukkan bahwa ketahanan manusia dalam lingkungan ekstrem bukanlah hasil dari satu faktor tunggal, melainkan hasil integrasi kompleks antara adaptasi biologis, regulasi psikologis, dinamika sosial, dan sumber daya spiritual (Burtscher et al., 2018; Michel et al., 2021; Roy et al., 2023). Pendekatan multidisipliner menjadi kunci dalam mengembangkan strategi intervensi yang efektif untuk meningkatkan kesehatan dan ketahanan individu maupun kelompok dalam kondisi ekstrem.

KESIMPULAN DAN SARAN

Ketahanan manusia dalam menghadapi lingkungan ekstrem pada matra darat, laut, dan udara merupakan hasil interaksi aspek biologis, psikologis, sosial, dan spiritual yang saling mendukung dalam mempertahankan fungsi adaptif tubuh. Adaptasi biologis seperti regulasi ventilasi, eritropoiesis, dan penyesuaian kardiopulmoner berperan penting dalam menghadapi hipoksia, suhu ekstrem, dan perubahan tekanan. Namun, keberhasilan adaptasi juga dipengaruhi oleh kemampuan mengelola stres, menjaga stabilitas emosi, membangun komunikasi dan kohesi tim, serta memanfaatkan spiritualitas sebagai sumber makna dan resiliensi. Oleh karena itu, pendekatan biopsikososial-spiritual perlu diintegrasikan dalam pendidikan kedokteran, kesehatan kerja, dan kedokteran matra melalui pelatihan coping stress, mindfulness, komunikasi tim, serta dukungan psikososial-spiritual. Penelitian berbasis lapangan juga diperlukan untuk memperkuat pemahaman mengenai mekanisme adaptasi manusia di lingkungan ekstrem.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, F., Prathama, A., Fitriana, E., Komala, E., & Tijdink, J. (2025). Psychological distress and coping strategies among Indonesian psychologists during the COVID-19 pandemic: A two-wave cross-lagged study. *Health Psychology and Behavioral Medicine*, 13. <https://doi.org/10.1080/21642850.2025.2456662>
- Adirim, T. (2019). A military health system for the twenty-first century. *Health Affairs (Project Hope)*, 38(8), 1268–1273. <https://doi.org/10.1377/hlthaff.2019.00302>
- Azizpour, I., Mehri, S., & Soola, A. H. (2022). Disaster preparedness knowledge and its relationship with triage decision-making among hospital and pre-hospital emergency nurses - Ardabil, Iran. *BMC Health Services Research*, 22(1), 934. <https://doi.org/10.1186/s12913-022-08311-9>

- Baykal, E. (2021). Boosting resilience through spiritual well-being: COVID-19 example. **, 2, 18–25. <https://doi.org/10.36096/brss.v2i4.224>
- Bilosevych, I., Oleksyuk, M., & Savelyuk, N. (2025). Religious faith as a tool for psychological support during combat operations. *Pharos Journal of Theology*. <https://doi.org/10.46222/pharosjot.106.3026>
- Brandt, L., Liu, S., Heim, C., & Heinz, A. (2022). The effects of social isolation stress and discrimination on mental health. *Translational Psychiatry*, 12. <https://doi.org/10.1038/s41398-022-02178-4>
- Burtscher, M., Gatterer, H., Burtscher, J., & Mairbäurl, H. (2018). Extreme terrestrial environments: Life in thermal stress and hypoxia. A narrative review. *Frontiers in Physiology*, 9. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.00572>
- Chaaya, R., Sfeir, M., Khoury, S., Malhab, S., & Khoury-Malhame, M. (2025). Adaptive versus maladaptive coping strategies: Insight from Lebanese young adults navigating multiple crises. *BMC Public Health*, 25. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.00572>
- Chirico, F., Sharma, M., Zaffina, S., & Magnavita, N. (2020). Spirituality and prayer on teacher stress and burnout in an Italian cohort: A pilot, before-after controlled study. *Frontiers in Psychology*, 10. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.02933>
- Clément, G. (2025). Fundamentals of space medicine. *Space Technology Library*. <https://dx.doi.org/10.1007/978-1-4419-9905-4>
- Davis, R., & Kiang, L. (2016). Religious identity, religious participation, and psychological well-being in Asian American adolescents. *Journal of Youth and Adolescence*, 45, 532–546. <https://dx.doi.org/10.1007/s10964-015-0350-9>
- Dewi, I., Haroen, H., Agustina, H., Pahria, T., Arisanti, N., & Keawpimon, P. (2025). Spiritual care competencies among nursing students in the Middle East and Asia: A systematic review. *BMC Nursing*, 24. <https://dx.doi.org/10.1186/s12912-025-03047-3>
- Drabek, T. (2011). Human system responses to disaster: An inventory of sociological findings. <https://dx.doi.org/10.2307/2579446>
- Dreu, C., & Vianen, A. (2001). Managing relationship conflict and the effectiveness of organizational teams. *Journal of Organizational Behavior*, 22, 309–328. <https://dx.doi.org/10.1002/job.71>
- Ebi, K., Harris, F., Sioen, G., Wannous, C., Anyamba, A., Bi, P., Boeckmann, M., Bowen, K., Cissé, G., Dasgupta, P., Dida, G., Gasparatos, A., Gatzweiler, F., Javadi, F., Kanbara, S., Koné, B., Maycock, B., Morse, A., Murakami, T., Mustapha, A., Pongsiri, M., Suzán, G., Watanabe, C., & Capon, A. (2020). Transdisciplinary research priorities for human and planetary health in the context of the 2030 agenda for sustainable development. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17. <https://dx.doi.org/10.3390/ijerph17238890>
- Fischer, R., Scheunemann, J., & Moritz, S. (2021). Coping strategies and subjective well-being: Context matters. *Journal of Happiness Studies*, 22, 3413–3434. <https://dx.doi.org/10.1007/s10902-021-00372-7>
- Gonçalves, J., Lucchetti, G., Menezes, P., & Vallada, H. (2015). Religious and spiritual interventions in mental health care: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled clinical trials. *Psychological Medicine*, 45, 2937–2949. <https://dx.doi.org/10.1017/S0033291715001166>

- Goswami, N., White, O., Blaber, A., Evans, J., Loon, J., & Clément, G. (2021). Human physiology adaptation to altered gravity environments. *Acta Astronautica*, 189, 216–221. <https://dx.doi.org/10.1016/j.actaastro.2021.08.023>
- Graça, L., & Brandão, T. (2024). Religious/spiritual coping, emotion regulation, psychological well-being, and life satisfaction among university students. *Journal of Psychology and Theology*, 52, 342–358. <https://dx.doi.org/10.1177/00916471231223920>
- Holt-Gosselin, B., Tozzi, L., Ramirez, C., Gotlib, I., & Williams, L. (2021). Coping strategies, neural structure, and depression and anxiety during the COVID-19 pandemic: A longitudinal study in a naturalistic sample spanning clinical diagnoses and subclinical symptoms. *Biological Psychiatry Global Open Science*, 1, 261–271. <https://dx.doi.org/10.1016/j.bpsgos.2021.06.007>
- Hu, N., Chen, Z., Gu, J., Huang, S., & Liu, H. (2017). Conflict and creativity in inter-organizational teams. *International Journal of Conflict Management*, 28, 74–102. <https://dx.doi.org/10.1108/ijcma-01-2016-0003>
- Ilardo, M., & Nielsen, R. (2018). Human adaptation to extreme environmental conditions. *Current Opinion in Genetics & Development*, 53, 77–82. <https://dx.doi.org/10.1016/j.gde.2018.07.003>
- Jha, A., Morrison, A., Parker, S., & Stanley, E. (2017). Practice is protective: Mindfulness training promotes cognitive resilience in high-stress cohorts. *Mindfulness*, 8, 46–58. <https://dx.doi.org/10.1007/s12671-015-0465-9>
- King, H. C., Spritzer, N., & Al-Azzeh, N. (2019). Perceived knowledge, skills, and preparedness for disaster management among military health care personnel. *Military Medicine*, 184(9–10), e548–e554. <https://dx.doi.org/10.1093/milmed/usz038>
- Kjærgaard, A., Leon, G., & Fink, B. (2015). Personal challenges, communication processes, and team effectiveness in military special patrol teams operating in a polar environment. *Environment and Behavior*, 47, 644–666. <https://dx.doi.org/10.1177/0013916513512834>
- Kovačević, I., Pavić, J., Filipović, B., Vulinec, Š., Ilić, B., & Petek, D. (2024). Integrated approach to chronic pain—The role of psychosocial factors and multidisciplinary treatment: A narrative review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 21. <https://dx.doi.org/10.3390/ijerph21091135>
- Lee, E., Avgar, A., Park, W., & Choi, D. (2019). The dual effects of task conflict on team creativity. *International Journal of Conflict Management*. <https://dx.doi.org/10.1108/ijcma-02-2018-0025>
- Manning, L., Ferris, M., Rosario, C., Prues, M., & Bouchard, L. (2018). Spiritual resilience: Understanding the protection and promotion of well-being in later life. *Journal of Religion, Spirituality & Aging*, 31, 168–186. <https://dx.doi.org/10.1080/15528030.2018.1532859>
- Michel, N., Guillaume, M., Peter, S., Lawrence, P., Bachelard, C., & Marvin, G. (2021). The tougher the environment, the harder the adaptation? A psychological point of view in extreme situations. *Acta Astronautica*, 187, 36–42. <https://dx.doi.org/10.1016/j.actaastro.2021.05.045>
- Moya, E. (2022). EPAS1/HIF-2 α : A key regulator for chronic hypoxia across species. *The Journal of Physiology*, 600. <https://dx.doi.org/10.1113/JP283554>

- Nelson-Becker, H., & Thomas, M. (2020). Religious/spiritual struggles and spiritual resilience in marginalised older adults. *Religions*. <https://dx.doi.org/10.3390/rel11090431>
- Nguyen, T., Pu, C., Waits, A., Tran, T., Ngo, T., Huynh, Q., & Huang, S. (2023). Transforming stress program on medical students' stress mindset and coping strategies: A quasi-experimental study. *BMC Medical Education*, 23. <https://dx.doi.org/10.1186/s12909-023-04559-9>
- Notman, N. (2025). When weather wounds workers: The impact of temperature on workplace accidents. <https://doi.org/10.48620/85170>
- Okan, N., Şahin, Y., Genç, H., & Demirhan, M. (2025). Harnessing spiritual coping to foster resilience: Insights from post-trauma mental health after the Kahramanmaraş earthquake. *Humanities and Social Sciences Communications*. <https://dx.doi.org/10.1057/s41599-025-05318-5>
- Pagnini, F., Thoolen, S., Smith, N., Van Ombergen, A., Grosso, F., Langer, E., & Phillips, D. (2024). Mindfulness disposition as a protective factor against stress in Antarctica: A potential countermeasure for long-duration spaceflight? *Journal of Environmental Psychology*. <https://dx.doi.org/10.1016/j.jenvp.2024.102254>
- Palinkas, L., & Suedfeld, P. (2021). Psychosocial issues in isolated and confined extreme environments. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 126, 413–429. <https://dx.doi.org/10.1016/j.neubiorev.2021.03.032>
- Patterson, E., Miller, C., & Hannapel, M. (2025). Public psychology and holistic approaches to prevention and treatment of depression. *Frontiers in Psychiatry*, 16. <https://dx.doi.org/10.3389/fpsy.2025.1600094>
- Pavez, I., Gómez, H., Lauhié, L., & González, V. (2021). Project team resilience: The effect of group potency and interpersonal trust. *International Journal of Project Management*. <https://dx.doi.org/10.1016/j.ijproman.2021.06.004>
- Pendergast, D., Moon, R., Krasney, J., Held, H., & Zamparo, P. (2015). Human physiology in an aquatic environment. *Comprehensive Physiology*, 5(4), 1705–1750. https://dx.doi.org/Book_Doi%2010.1002/9783527633326
- Rahmadina, N., Linawati, S. W., Khairunnisa, S. H. H., Basrowi, R. W., & Riadi, D. (2026). A systematic literature review of husband's support for the incidence of postpartum depression in Indonesia. *The Open Public Health Journal*, 19(1). <http://dx.doi.org/10.2174/0118749445424980260202101630>
- Riadi, D., Trihandini, I., Sari, D. N., & Wijaya, F. (2025). The effectiveness of remote patient monitoring in reducing the risk of rehospitalizations in COVID-19 patients: A meta-analysis. *Kesmas: Jurnal Kesehatan Masyarakat Nasional*, 20(5), 10–20. <https://doi.org/10.7454/kesmas.v20isp1.1715>
- Richalet, J., Hermand, É., & Lhuissier, F. (2023). Cardiovascular physiology and pathophysiology at high altitude. *Nature Reviews Cardiology*, 21, 75–88. <https://dx.doi.org/10.1038/s41569-023-00924-9>
- Roy, B., Martin-Krumm, C., Pinol, N., Dutheil, F., & Trousselard, M. (2023). Human challenges to adaptation to extreme professional environments: A systematic review. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 146. <https://dx.doi.org/10.1016/j.neubiorev.2023.105054>

- Schwalm, F., Zandavalli, R., De Castro Filho, E., & Lucchetti, G. (2021). Is there a relationship between spirituality/religiosity and resilience? A systematic review and meta-analysis of observational studies. *Journal of Health Psychology*, 27, 1218–1232. <https://dx.doi.org/10.1177/1359105320984537>
- She, H., & Qu, Y. (2025). Cardiovascular plasticity and adaptation of high-altitude birds and mammals. *Integrative Zoology*. <https://dx.doi.org/10.1111/1749-4877.12996>
- Sullivan, E., James, E., Henderson, L., McCall, C., & Cairney, S. (2023). The influence of emotion regulation strategies and sleep quality on depression and anxiety. *Cortex*, 166, 286–305. <https://dx.doi.org/10.1016/j.cortex.2023.06.001>
- Suhartoyo, F. M., Sumampouw, O. J., & Rampengan, N. H. (2022). Occupational Accidents among Fishermen in Manado, North Sulawesi. *E-Clinic: Jurnal Ilmiah Kedokteran Klinik*, 10(1), 1. <https://doi.org/10.35790/ecl.v10i1.37311>
- Triana, M., Kim, K., Byun, S., Delgado, D., & Arthur, W. (2020). The relationship between team deep-level diversity and team performance: A meta-analysis of the main effect, moderators, and mediating mechanisms. *Journal of Management Studies*. <https://dx.doi.org/10.1111/joms.12670>
- Tveita, T., Eftedal, I., & Deb, S. K. (2022). Editorial: Survival in Extreme Environments – Adaptation or Decompensation?, Volume II. *Frontiers in Physiology*, 13. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.1106903>
- VanderWeele, T. (2017). Religious communities and human flourishing. *Current Directions in Psychological Science*, 26, 476–481. <https://dx.doi.org/10.1177/0963721417721526>
- Verwijs, C., & Russo, D. (2023). The double-edged sword of diversity: How diversity, conflict, and psychological safety impact software teams. *IEEE Transactions on Software Engineering*, 50, 141–157. <https://dx.doi.org/10.1109/TSE.2023.3339881>
- Villafuerte, F., Simonson, T., Bermudez, D., & Léon-Velarde, F. (2022). High-altitude erythrocytosis: Mechanisms of adaptive and mal-adaptive responses. *Physiology*. <https://dx.doi.org/10.15381/anales.v86i3.31240>
- Wang, Y., Kumar, S., & Kung, W. (2025). Crosstalk in multidisciplinary approaches for evidence-based medicine. *Journal of Multidisciplinary Healthcare*, 18, 1985–1986. <https://dx.doi.org/10.2147/JMDH.S528689>
- Witt, K., & Huerta-Sánchez, E. (2019). Convergent evolution in human and domesticate adaptation to high-altitude environments. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 374. <https://dx.doi.org/10.1098/rstb.2018.0235>
- Zale, E., Ring, D., & Vranceanu, A. (2018). The future of orthopaedic care: Promoting psychosocial resiliency in orthopaedic surgical practices. *The Journal of Bone and Joint Surgery*, 100, e89. <https://dx.doi.org/10.2106/JBJS.17.01159>