

Evaluasi Penggunaan *Body Cooling* untuk Mengatasi *Heat Stress* pada Pekerja yang Terpapar Panas dan Terik Matahari

Mukhammad Ayyub, Titis Wijayanto

Program Studi Teknik Industri, Departemen Teknik Mesin dan Industri, Universitas Gadjah Mada; email: mukhammadayyub@mail.ugm.ac.id, twijaya@ugm.ac.id

* Corresponding author

Abstrak

Kenaikan suhu global atau *global warming* menyebabkan terjadinya cuaca panas ekstrem yang meningkatkan risiko berbahaya di lingkungan kerja, terutama terkait dengan *occupational heat stress* pada pekerja di luar ruangan atau *outdoor workers* yang terpapar langsung oleh matahari. Pekerja yang terpapar panas dan teriknya matahari dalam durasi waktu yang lama akan rentan mengalami *heat strain* berlebih yang berpotensi menimbulkan *heat-related illness* atau gangguan kesehatan akibat panas. Sebagai tindakan pencegahan, *body cooling* dapat menjadi metode yang mudah untuk diterapkan untuk mengatasi *heat stress* yang dialami oleh pekerja ketika bekerja di lingkungan panas. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengkaji penggunaan *body cooling* pada pekerja di luar ruangan yang terpapar oleh panas dan terik matahari. Penelitian ini menggunakan metode PRISMA, sebuah pendekatan sistematis untuk penyaringan literatur, dengan pencarian melalui database Pubmed dan Scopus. Dari hasil pencarian dan penyaringan, didapatkan 22 literatur terkait penggunaan *body cooling* pada pekerja luar ruangan. Berdasarkan analisis, pekerjaan di luar ruangan yang rawan terkena *heat stress* dan HRI adalah atlet, pekerja konstruksi, petani, pemadam kebakaran, dan tentara. Dari hasil penelitian ini diperoleh beberapa metode untuk *body cooling* untuk penurunan *heat stress* yang meliputi *cold water consumption*, dan *ice slurry ingestion*, *cooling vest*, *cooling garment*, *cooling gear*, *phase change material (PCM)*, *wet towel*, *body immersion*, dan *cooling fan*.

Kata Kunci: *Occupational heat stress*, *Heat-related illness*. *Heat strain*, *Body cooling*

Abstract

[Evaluation of body cooling usage for overcoming heat stress in workers under heat exposure and sunlight] Extreme heat from *global warming* raises the potential for danger in the workplace, especially concerning *heat stress* in *outdoor workers* who are exposed to direct sun frequently. Long-term exposure to direct sunlight and heat will make workers more susceptible to extreme *heat stress*, which could lead to *heat-related illnesses* or other health issues. *Body cooling* can be an effective preventative measure for managing employees' *heat stress* when working in a hot environment. The objective of this research is to investigate the use of *body cooling* methods for *outdoor workers* exposed to the sun and heat. This study employed the PRISMA approach, a systematic method for literature screening, using searches from the Pubmed and Scopus databases. From the search and screening processes, twenty-two publications related to *body cooling* in *outdoor workers* were identified. According to the report, athletes, construction workers, farmers, firefighters, and soldiers are among the *outdoor occupations* susceptible to *heat stress* and HRI. The study identified several *body cooling* methods to alleviate *heat stress*, including *cold water consumption*, *ice slurry ingestion*, *cooling vests and garments*, *cooling gear*, *phase change materials (PCM)*, *wet towels*, *body immersion*, and *cooling fans*.

Keywords: *Occupational heat stress*, *Heat-related illness*. *Heat strain*, *Body cooling*

Kelompok BoK yang bersesuaian dengan artikel: *Ergonomics & Human Factors*

Saran format untuk mensitasi artikel ini:

Ayyub, M. dan Wijayanto, T. (2023). Evaluasi Penggunaan Body Cooling untuk Mengatasi Heat Stress pada Pekerja yang Terpapar Panas dan Terik Matahari. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Industri (SENASTI) 2023*, 375-383.

1. Pendahuluan

Suhu rata-rata bumi mengalami kenaikan $1,1^{\circ}\text{C}$, yang artinya lebih tinggi dibandingkan dengan *pre-industrial level*, yaitu suhu bumi pada tahun 1850-1900an, dan diperkirakan peningkatannya menembus $1,5^{\circ}\text{C}$ pada tahun 2040 (IPCC, 2022). Peningkatan suhu ini merupakan wujud fenomena *global warming* yang disebabkan oleh semakin menumpuknya gas emisi karbon yang terakumulasi akibat kehidupan manusia dari tahun ke tahun. *Global warming* akan memicu terjadinya perubahan iklim yang tidak menentu secara ekstrem di berbagai wilayah. Dilansir dari WHO bahwa suhu ekstrem tercatat mengakibatkan lebih dari 148 ribu jiwa meninggal di wilayah Eropa selama 50 tahun terakhir. Selain itu, Zhao *et al.* (2019) dalam penelitiannya menemukan bahwa pada rentang tahun 2000 – 2015, 6% dari pasien rumah sakit di Brazil pada periode tersebut berhubungan dengan penyakit yang disebabkan oleh paparan gelombang panas. Dosio *et al.* (2018) melalui penelitiannya menjelaskan bahwa peningkatan gelombang panas diproyeksikan akan banyak terjadi di banyak belahan dunia khususnya di Afrika, Amerika Selatan, dan Asia Tenggara.

Suhu panas sangat memengaruhi aktivitas sehari-hari manusia, tak terkecuali pada para pekerja yang bekerja di lingkungan yang terpapar panas dan sinar matahari secara langsung dengan durasi waktu yang lama. Setiap aktivitas yang dilakukan di luar ruangan tentunya akan mengalami *heat stress*. *Heat stress*, atau gangguan panas, merupakan suatu kondisi di mana tubuh mendapatkan paparan panas yang berlebih dan dapat berakibat pada kenaikan suhu inti tubuh (T_c) melebihi angka normal yaitu lebih dari $36,5 - 37,5^{\circ}\text{C}$ (Hutchison *et al.* 2008). Adanya *heat stress* ini dapat menyebabkan peningkatan *physiological heat strain* (Flouris *et al.* 2018, Ioannou *et al.* 2021) yang disertai dengan adanya penurunan kapasitas kognitif (Pilcher *et al.* 2002, Taylor *et al.* 2015) dan kinerja fisik (Flouris *et al.* 2018, Ioannou *et al.* 2017) dan dapat berujung pada peningkatan risiko *heat-related illness (HRI)*. Pada kondisi ringan, *heat stress* dapat menyebabkan *fatigue* atau kelelahan secara berlebih dan *heat syncope* atau pusing sesaat pada pekerja yang mengakibatkan menurunnya performansi saat bekerja. Sementara pada kondisi ekstrem, risiko terjadinya HRI seperti *heat exhaustion*, *heat cramps*, dan bahkan *heat stroke* meningkat, di mana HRI yang terakhir ini dapat berakibat fatal dan mengakibatkan kematian (Mansor *et al.* 2019). Becker dan Stewart (2011) menyatakan bahwa kombinasi dari suhu lingkungan yang panas dan aktivitas fisik yang intens akan meningkatkan risiko terjadinya *heat stroke* karena suhu inti tubuh meningkat drastis.

Kemampuan manusia bertahan dalam kondisi panas ekstrem memiliki ambang batas fisiologis *wet-bulb temperature (Tw)* sebesar 35°C (Sherwood dan Huber, 2010). Penelitian yang dilakukan oleh Zhang *et al.* (2021) menunjukkan bahwa Tw di kawasan tropis diperkirakan akan meningkat sebesar $1,33^{\circ}\text{C} - 1,49^{\circ}\text{C}$ apabila suhu rata-rata bumi naik $1,5^{\circ}\text{C}$. Tw sendiri merupakan salah satu variabel untuk menghitung *wet-bulb globe temperature (WBGT)*, salah satu indeks untuk menilai risiko *heat stress*. Di Indonesia ambang batas WBGT diatur dalam

Peraturan Menteri Ketenagakerjaan Nomor 5 Tahun 2018, dikenal dengan Indeks Suhu Basah Bola (ISBB). Beberapa studi, seperti yang dilakukan Pitaloka et al. (2021), menemukan bahwa beberapa lingkungan kerja di Indonesia telah melebihi batas ISBB. Hal ini tentunya akan meningkatkan risiko bagi pekerja di luar ruangan yang terpapar panas dan sinar matahari.

Menghadapi suhu lingkungan kerja yang meningkat, *personal hazard control* berupa *body cooling* menjadi sesuatu yang penting. Menurut Chicas et al. (2020), suhu lingkungan kerja adalah *hazard* yang sulit dihilangkan atau diganti, sehingga kontrol personal seperti *body cooling* dapat menjadi salah satu metode yang efektif untuk mengatasi *heat stress*. *Body cooling* merupakan metode pendinginan aktif yang bertujuan menjaga agar suhu inti tubuh tetap stabil atau tidak naik terlalu tinggi. *Body cooling* dapat meningkatkan pembuangan panas tubuh melalui proses evaporasi, konduksi, dan konveksi, sehingga mencegah penyimpanan panas yang berlebih dan mengurangi tingkatan *heat strain* pada tubuh manusia (Brearly dan Walker, 2015).

Dalam konteks ini, tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengkaji literatur terkait dengan penggunaan *body cooling* untuk mengatasi *heat stress* pada pekerja luar ruangan atau *outdoor workers* yang terpapar oleh panas dan terik matahari secara langsung. Dengan hasil penelitian ini, diharapkan dapat memberikan rekomendasi praktis untuk meningkatkan keselamatan di tempat kerja dan mengurangi risiko stres panas akibat pekerjaan.

2. Metode

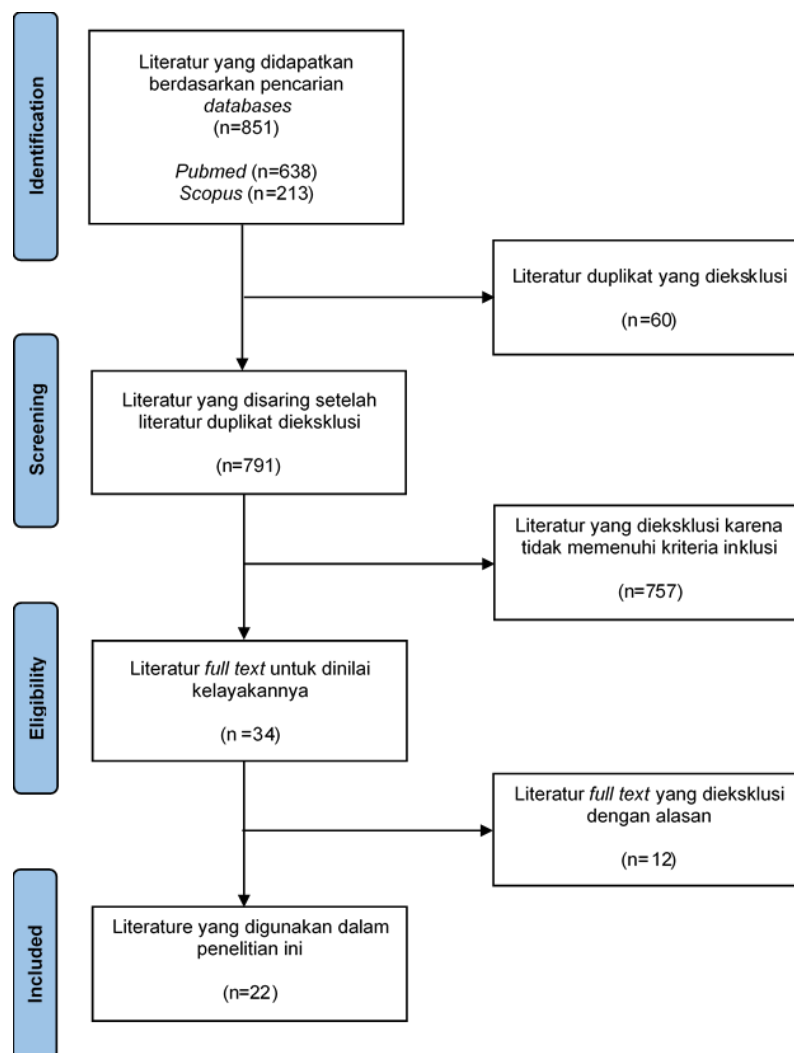
Penelitian ini adalah dengan menggunakan metode PRISMA. Literatur terkait penggunaan *body cooling* pada pekerja di luar ruangan yang terpapar panas dan terik matahari secara langsung didapatkan dari pencarian melalui *PubMed* dan *Scopus Databases*. Pencarian dilakukan dengan menggunakan kombinasi kata kunci beserta sinonim dan kata yang mirip dengan: '*worker*', '*outdoor*', '*heat stress*', '*heat strain*', '*heat-related illness*', '*cooling*', '*body cooling*', dan '*cooling intervention*', yang dicari pada judul, abstrak, atau kata kunci pada tiap literatur. Batasan tahun yang diimplementasikan adalah dari tahun 2010 – 2023 agar dapat mendapatkan hasil pencarian literatur yang sesuai dengan pengetahuan sains dan kondisi lingkungan yang terkini.

Kriteria inklusi yang diterapkan pada penelitian ini adalah literatur yang menggunakan bahasa Inggris, penelitian yang dilakukan pada pekerja luar ruangan yang terpapar panas dan matahari secara langsung, dan penelitian yang menggunakan intervensi *body cooling* untuk mengatasi *heat stress*. Kriteria eksklusi yang digunakan adalah penelitian yang bersifat laporan, studi kasus, dan *letter*. Selain itu, penelitian yang dilakukan pada pekerja dalam ruangan dan pada subjek selain manusia juga dieksklusi.

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil proses penyaringan literatur menggunakan metode PRISMA disajikan pada Gambar 1. Berdasarkan hasil pencarian menggunakan *databases*, penelitian ini mendapatkan 851 literatur yang terdiri dari 638 literatur dari *Pubmed* dan 213 literatur dari *Scopus*. Setelah dilakukan *screening*, ditemukan sebanyak 60 literatur literatur yang duplikat, sehingga tersisa 791 literatur. Dari jumlah literatur yang tersisa, dilakukan proses seleksi berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi sehingga mendapatkan 34 literatur *full-text* terkait dengan penggunaan *body cooling* pada pekerja di luar ruangan yang terpapar panas dan terik matahari secara langsung. Tahap terakhir yaitu uji kelayakan dan ditemukan sebanyak 12 literatur tidak lolos uji kelayakan dikarenakan merupakan penelitian yang bersifat *literature review*. Hasil akhir dari

literatur yang relevan dengan topik ini yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebanyak 22 literatur.



Gambar 1. PRISMA Flow Diagram

Dari 22 literatur yang dikaji, beberapa pekerjaan seperti atlet, pekerja konstruksi, petani, pemadam kebakaran, dan tentara menggunakan *body cooling* untuk mengatasi *heat stress*. Semua pekerjaan ini biasanya dilakukan di lingkungan yang terpapar panas dan sinar matahari, sehingga berisiko tinggi bagi pekerja tersebut terkena *heat stress* dan risiko mengalami *HRI*.

Dari literatur pada Tabel 1 terlihat bahwa sebagian penelitian yang mengkaji penggunaan *body cooling* pada atlet cukup melimpah. Hal ini disebabkan karena pada awalnya teknik ini populer di kalangan atlet untuk meningkatkan performansi saat bertanding. Namun, penggunaannya dalam olahraga sering kali menemui hambatan regulasi, karena bisa dianggap memberikan beban berlebih atau sebagai alat bantu yang dilarang. Di sisi lain, pekerja konstruksi juga sering menjadi fokus penelitian mengenai *body cooling*. Pekerja pada sector ini berpotensi besar mengalami *heat stress* karena bekerja di bawah paparan sinar matahari langsung, sering di area tanpa ventilasi, dan dengan aktivitas yang berat yang disertai oleh durasi kerja yang panjang.

Tabel 1. Literatur Hasil Penyaringan

No	Penulis	Subjek	Intervensi
1	Chan <i>et al.</i>	Pekerja Kontruksi	Cooling Vest dengan PCM
2	Chalmers <i>et al.</i>	Atlet Sepak Bola	Wet Towel; Cold Water Consumption
3	Hedge <i>et al.</i>	Atlet Sepeda Balap	Inner Forearm Cooling dengan Aluminum Heat Exchanger
4	Chicas <i>et al.</i>	Petani	Cooling Bandana; Cooling Vest
5	Fullagar <i>et al.</i>	Pemadam Kebakaran	Forearm Immersion; Wet Towel; Cold Water Consumption; Ice Slurry Ingestion; Fan
6	Guo <i>et al.</i>	Pekerja Kontruksi	Cooling Vest
7	Krishnan <i>et al.</i>	Atlet	Wrist Cooling
8	O'hara <i>et al.</i>	Tentara	Cooling Garment
9	Brade <i>et al.</i>	Atlet	Cooling Garment; Ice Slurry Ingestion
10	Katica <i>et al.</i>	Pemadam Kebakaran	Forearm and Leg Immersion
11	Kim <i>et al.</i>	Pemadam Kebakaran	Air Ventilation; Cooling Garment
12	Maia-Lima <i>et al.</i>	Atlet Sepeda Balap	Body Immersion
13	Yi <i>et al.</i>	Pekerja Kontruksi	Cooling Vest dengan Fan; Cooling Vest dengan PCM
14	Katica <i>et al.</i>	Atlet Sepeda Balap	Ice Wraps; Cooling Vest
15	Naito <i>et al.</i>	Atlet Tennis Lapangan	Ad Libitum Fluid Ingestion; Cooling Vest
16	Beaven <i>et al.</i>	Atlet Rugby	Cooling Garment; Ice Slurry Ingestion
17	Minett <i>et al.</i>	Atlet Cricket	Wet Towel; Wrist Immersion; Ice Packs
18	Yi <i>et al.</i>	Pekerja Kontruksi	Cooling Vest
19	Yasmeen <i>et al.</i>	Pekerja Kontruksi	Fan
20	Jovanovic <i>et al.</i>	Tentara	Cooling Vest; Cooling Underwear
21	Hausswirth <i>et al.</i>	Atlet Sepeda Balap	Body Immersion; Cooling Jacket
22	Moss <i>et al.</i>	Atlet Sepeda Balap	Body Immersion; Cooling Collar

Pada penggunaan *body cooling*, berbagai intervensi digunakan yang dapat dibagi menjadi dua jenis. Jenis pertama adalah *internal cooling*, di mana intervensi *body cooling* dilakukan dari dalam tubuh melalui konsumsi minuman dingin. Jenis *internal cooling* yang ditemukan dalam penelitian ini antara lain berupa *cold water consumption* (Chalmer *et al.* 2019, Fullagar *et al.* 2022, Naito *et al.* 2022) dan *ice slurry ingestion* (Fullagar *et al.* 2022, Brade *et al.* 2014, Beaven *et al.* 2018). Jenis kedua adalah *external cooling*, yang dilakukan dari luar tubuh, dengan contoh berupa *cooling vest* (Chan *et al.* 2017, Chicas *et al.* 2020, Guo *et al.* 2019, Yi *et al.* 2017a, Yi *et al.* 2017b, Jovanovic *et al.* 2014), *cooling garment* (O'hara *et al.* 2016, Brade *et al.* 2014, Kim *et al.* 2011, Beaven *et al.* 2018, Hausswirth *et al.* 2012), *wet towel* (Chalmer *et al.* 2019, Minett *et al.* 2012), *body immersion* (Hedge *et al.* 2021, Fullagar *et al.* 2022, Krishnan *et al.* 2018, Katica *et*

al. 2018, Minett *et al.* 2012), dan *fan* (Yasmeen *et al.* 2020, Fullagar *et al.* 2022). Penelitian menunjukkan bahwa intervensi internal cooling sangat efektif dalam menurunkan suhu inti tubuh (T_c), sedangkan external cooling lebih banyak menurunkan suhu rata-rata kulit tanpa mempengaruhi T_c (Fullagar *et al.* 2022, Naito *et al.* 2022).

Dapat dilihat juga dari Tabel 1, bahwa metode *body cooling* yang paling banyak digunakan adalah *external cooling* berupa *cooling vest*. *Cooling vest* adalah rompi yang dibuat khusus dengan bahan-bahan yang memberikan efek pendinginan pada tubuh seperti *ice packs*, *PCM*, atau dengan tambahan *fan* di dalam *vest*. Dalam beberapa penelitian dilaporkan bahwa penggunaan *cooling vest* dapat membantu dalam menurunkan *heat strain* (Yi *et al.* 2017a, Zhao *et al.* 2017), meningkatkan kenyamanan termal (Zhao *et al.* 2017) dan kinerja fisik (Chan *et al.* 2017a, 2017b). Selain itu, penggunaan *cooling vest* juga dapat digunakan sepanjang waktu selama bekerja. Hal ini akan menjaga suhu inti tubuh para pekerja yang bekerja di lingkungan panas menjadi stabil.

4. Kesimpulan

Pekerja yang bekerja di lingkungan yang terpapar panas dan terik matahari secara langsung sangat berpotensi terkena *heat stress* dan mengalami *HRI*. Jika suhu lingkungan kerja merupakan suatu hazard yang tidak dapat dieliminasi ataupun disubstitusi, maka *personal hazard control* berupa *body cooling* adalah satu alternatif yang memungkinkan untuk diterapkan untuk mengatasi *heat stress* dan menghindari *HRI*. Pada penelitian ini didapatkan 22 literatur yang membahas mengenai pekerja luar ruangan yang menggunakan *body cooling*. Beberapa pekerjaan yang rawan terkena *heat stress* dan *HRI* adalah atlet, pekerja konstruksi, petani, pemadam kebakaran, dan tantara, sehingga beberapa metode *body cooling* banyak diaplikasikan untuk beberapa tipe pekerjaan tersebut. *Body cooling* yang digunakan antara lain *cold water consumption*, dan *ice slurry ingestion*, *cooling vest*, *cooling garment*, *cooling gear*, *phase change material (PCM)*, *wet towel*, *body immersion*, dan *fan*.

Sampai saat ini, penggunaan *body cooling* sebagai salah satu metode adaptasi terhadap suhu yang ekstrem bagi pekerja di luar ruangan mayoritas ditemukan di daerah Amerika dan Eropa. Hal ini dapat disebabkan oleh kesadaran yang lebih tinggi terhadap risiko kesehatan yang terkait dengan suhu dingin atau panas yang ekstrem, serta infrastruktur dan sumber daya yang memadai untuk mengimplementasikannya. Namun, penggunaan metode ini masih sangat jarang diimplementasikan di daerah beriklim tropis, padahal kawasan tropis memiliki suhu yang cukup tinggi dan lembap, yang bisa meningkatkan risiko kesehatan bagi pekerja di luar ruangan. Lebih lanjut, dengan dampak *global warming* yang terus berlanjut, suhu di seluruh kawasan dunia, termasuk di daerah tropis, diperkirakan akan terus meningkat. Ini menimbulkan urgensi yang semakin besar untuk mengkaji dan mengimplementasikan solusi seperti *body cooling* di daerah tropis. Selain itu, kawasan Asia Tenggara dan sekitarnya, yang sebagian besar beriklim tropis, memiliki jumlah populasi dan pekerja di luar ruangan yang signifikan. Oleh karena itu, penelitian yang mengkaji aplikasi dan efektivitas *body cooling* di kawasan ini sangat dibutuhkan untuk meningkatkan kesejahteraan dan keamanan pekerja.

Daftar Pustaka

- Beaven, C. M., Kilduff, L. P., & Cook, C. J. (2018). Lower-Limb Passive Heat Maintenance Combined With Pre-cooling Improves Repeated Sprint Ability. *Frontiers in Physiology*, 9, 1064. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.01064>
- Becker JA, & Stewart LK (2011). Heat-related illness. *American Family Physician*, 83(11), 1325-1330. [PubMed: 21661715]
- Brade, C., Dawson, B., & Wallman, K. (2014). Effects of different precooling techniques on repeat sprint ability in team sport athletes. *European Journal of Sport Science*, 14(sup1), S84–S91. <https://doi.org/10.1080/17461391.2011.651491>
- Brearley, M., Walker, A., 2015. Water immersion for post incident cooling of firefighters; a review of practical fire ground cooling modalities. *Extreme Physiol. Med.* 4, 15.
- Chalmers, S., Siegler, J., Lovell, R., Lynch, G., Gregson, W., Marshall, P., & Jay, O. (2019). Brief in-play cooling breaks reduce thermal strain during football in hot conditions. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 22(8), 912–917. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2019.04.009>
- Chan, A. P. C., Zhang, Y., Wang, F., Wong, F. F. K., & Chan, D. W. M. (2017). A field study of the effectiveness and practicality of a novel hybrid personal cooling vest worn during rest in Hong Kong construction industry. *Journal of Thermal Biology*, 70, 21–27. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2017.07.012>
- Chicas, R., Xiuhtecutli, N., Dickman, N. E., Scammell, M. L., Steenland, K., Hertzberg, V. S., & McCauley, L. (2020). Cooling intervention studies among outdoor occupational groups: A review of the literature. *American Journal of Industrial Medicine*, 63(11), 988–1007. <https://doi.org/10.1002/ajim.23175>
- Chicas, R., Xiuhtecutli, N., Elon, L., Scammell, M. K., Steenland, K., Hertzberg, V., & McCauley, L. (2021). Cooling Interventions Among Agricultural Workers: A Pilot Study. *Workplace Health and Safety*, 69(7). <https://doi.org/10.1177/2165079920976524>
- Dosio, A., Mentaschi, L., Fischer, E. M., & Wyser, K. (2018). Extreme heat waves under 1.5 °C and 2 °C global warming. *Environmental Research Letters*, 13(5), 054006. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aab827>
- Flouris AD, Dinas PC, Ioannou LG, Nybo L, Havenith G, Kenny GP, Kjellstrom T. (2018) Workers' health and productivity under occupational heat strain: a systematic review and meta-analysis. *Lancet Planet Health*. 2(12): e521-e531. doi: [http://10.1016/S2542-5196\(18\)30237-7](http://10.1016/S2542-5196(18)30237-7)
- Fullagar, H., Notley, S. R., Fransen, J., Richardson, A., Stadnyk, A., Lu, D., Brown, G., & Duffield, R. (2022). Cooling strategies for firefighters: Effects on physiological, physical, and visuo-motor outcomes following fire-fighting tasks in the heat. *Journal of Thermal Biology*, 106, 103236. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2022.103236>
- Guo, Y., Chan, A. P., Wong, F. K., Li, Y., Sun, S., & Han, X. (2019). Developing a hybrid cooling vest for combating heat stress in the construction industry. *Textile Research Journal*, 89(3), 254–269. <https://doi.org/10.1177/0040517517743685>
- Hauswirth, C., Duffield, R., Pournot, H., Bieuzen, F., Louis, J., Brisswalter, J., & Castagna, O. (2012). Postexercise cooling interventions and the effects on exercise-induced heat stress in a temperate environment. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 37(5), 965–975. <https://doi.org/10.1139/h2012-077>
- Hedge, E. T., Zuj, K. A., Stothart, A. G., Gavel, E. H., Goodman, L. S., Buckrell, A. J. M., & Peterson, S. D. (2021). Continuous forearm cooling attenuates gastrointestinal

- temperature increase during cycling. *Journal of Sports Sciences*, 39(5), 542–551. <https://doi.org/10.1080/02640414.2020.1835222>
- Hutchison, J. S., Hébert, P. C., Dirks, P. B., Gottesman, R., Meyer, P. G., & Singh, R. N. (2008). Hypothermia Therapy after Traumatic Brain Injury in Children. *The New England Journal of Medicine*, 358(23):2447-56. <https://doi.org/10.1056/nejmoa0706930>
- Ioannou LG, Tsoutsoubi L, Samoutis G, Bogataj LK, Kenny GP, Nybo L, Kjellstrom T, Flouris AD. (2017) Time-motion analysis as a novel approach for evaluating the impact of environmental heat exposure on labor loss in agriculture workers, *Temperature*, 4:3, 330-340, <http://10.1080/23328940.2017.1338210>
- Ioannou LG, Mantzios K, Tsoutsoubi L, Nintou E, Vliora M, Gkiata P, Dallas CN, Gkikas G, Agaliotis G, Sfakianakis K, Kapnia AK, Testa DJ, Amorim T, Dinas PC, Mayor TS, Gao C, Nybo L, Flouris AD (2021) Occupational Heat Stress: Multi-Country Observations and Interventions. *International Journal of Environmental Research & Public*. 18(12):6303. <http://10.3390/ijerph18126303>.
- IPCC, 2022: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp., doi:10.1017/9781009325844.
- Jovanovic, D., Karkalic, R., Zeba, S., Pavlovic, M., & Radakovic, S. (2014). Physiological tolerance to uncompensated heat stress in soldiers: Effects of various types of body cooling systems. *Vojnosanitetski Pregled*, 71(3), 259–264. <https://doi.org/10.2298/VSP120731045J>
- Katica, C. P., Wingo, J. E., Herron, R. L., Ryan, G. A., Bishop, S. H., & Richardson, M. (2018). Impact of upper body precooling during warm-up on subsequent time trial paced cycling in the heat. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 21(6), 621–625. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2017.10.007>
- Kim, J.-H., Coca, A., Williams, W. J., & Roberge, R. J. (2011). Effects of Liquid Cooling Garments on Recovery and Performance Time in Individuals Performing Strenuous Work Wearing a Firefighter Ensemble. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 8(7), 409–416. <https://doi.org/10.1080/15459624.2011.584840>
- Krishnan, A., Singh, K., Sharma, D., Upadhyay, V., & Singh, A. (2018). Effect of wrist cooling on aerobic and anaerobic performance in elite sportsmen. *Medical Journal Armed Forces India*, 74(1), 38–43. <https://doi.org/10.1016/j.mjafi.2017.04.004>
- Maia-Lima, A., Ramos, G., Moraes, M., Pacheco, D., De Oliveira, G., De Barros, C., Prado, L., & Garcia, E. (2017). Effects of Precooling on 30-km Cycling Performance and Pacing in Hot and Temperate Environments. *International Journal of Sports Medicine*, 38(01), 48–54. <https://doi.org/10.1055/s-0042-113465>
- Mansor, Z., Rosnah, I., Ismail, N.H., Hashim, J.H. (2019). Effects of hydration practices on the severity of heat-related illness among municipal workers during a heat wave phenomenon. *The Medical Journal of Malaysia* 74(4) :275-280.
- Minett, G. M., Duffield, R., Kellett, A., & Portus, M. (2012). Mixed-method pre-cooling reduces physiological demand without improving performance of medium-fast bowling in the heat. *Journal of Sports Sciences*, 30(9), 907–915. <https://doi.org/10.1080/02640414.2012.679677>

- Moss, J. N., Trangmar, S. J., Mackenzie, R. W. A., & Tyler, C. J. (2021). The effects of pre- and per-cooling interventions used in isolation and combination on subsequent 15-minute time-trial cycling performance in the heat. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 24(8), 800–805. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2021.04.006>
- Naito, T., Nakamura, M., Muraishi, K., Eda, N., Ando, K., Takemura, A., Akazawa, N., Hasegawa, H., & Takahashi, H. (2022). In-play optimal cooling for outdoor match-play tennis in the heat. *European Journal of Sport Science*, 22(3), 326–335. <https://doi.org/10.1080/17461391.2020.1870160>
- O'Hara, R., Vojta, C., Henry, A., Caldwell, L., Wade, M., Swanton, S., Linderman, J. K., & Ordway, J. (2016). Effects of a New Cooling Technology on Physical Performance in US Air Force Military Personnel. *Journal of Special Operations Medicine*, 16(2), 57. <https://doi.org/10.55460/67L0-EZBK>
- Peraturan Menteri Ketenagakerjaan Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2018 tentang Keselamatan dan Kesehatan Kerja Lingkungan Kerja
- Pilcher JJ, Nadler E, Busch C. (2002) Effects of hot and cold temperature exposure on performance: a meta-analytic review. *Ergonomics*. 45(10):682–98. <http://10.1080/00140130210158419>
- Pitaloka, A., Yuliaty, Sididi, M. (2021). Hubungan Iklim dengan Kinerja Pekerja di PT. Pelabuhan Indonesia (Persero) Terminal Peti Kemas Makassar. *Window of Public Health Journal* 2(5): 816-826. <https://doi.org/10.33096/woph.v2i5.298>
- Sherwood, S.C., Huber, M. (2009) An adaptability limit to climate change due to heat stress. In *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(21), 9552-9555.
- Taylor L, Watkins SL, Marshall H, Dascombe BJ, Foster J. (2015) The Impact of Different Environmental Conditions on Cognitive Function: A Focused Review. *Frontier Physiology*. 6:372. <http://10.3389/fphys.2015.00372>
- Yasmeen, S., Liu, H., Wu, Y., & Li, B. (2020). Physiological responses of acclimatized construction workers during different work patterns in a hot and humid subtropical area of China. *Journal of Building Engineering*, 30, 101281. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101281>
- Yi, W., Zhao, Y., & Chan, A. P. C. (2017a). Evaluating the Effectiveness of Cooling Vest in a Hot and Humid Environment. *Annals of Work Exposures and Health*, 61(4), 481–494. <https://doi.org/10.1093/annweh/wxx007>
- Yi, W., Zhao, Y., Chan, A. P. C., & Lam, E. W. M. (2017b). Optimal cooling intervention for construction workers in a hot and humid environment. *Building and Environment*, 118, 91–100. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.03.032>
- Zhao, Y., Yi, W., Chan, A.P.C., Wong, F.K.W, Yam, M.C.H (2017) Evaluating the Physiological and Perceptual Responses of Wearing a Newly Designed Cooling Vest for Construction Workers. *Annals of Work Exposures and Health*, 61(7): 883–901, <https://doi.org/10.1093/annweh/wxx055>
- Zhao, Q., Li, S., Coelho, M. S. Z. S., Saldiva, P. H. N., Hu, K., Arblaster, J. M., Nicholls, N., Huxley, R. R., Abramson, M. J., & Guo, Y. (2019). Geographic, Demographic, and Temporal Variations in the Association between Heat Exposure and Hospitalization in Brazil: A Nationwide Study between 2000 and 2015. *Environmental Health Perspectives*, 127(1), 017001. <https://doi.org/10.1289/EHP3889>