

Pemanfaatan Teknologi *Wearable* untuk Analisis Biomekanika: Tinjauan Sistematis dalam Mendukung Keselamatan dan Kinerja Tenaga Kesehatan

¹ Hasyim, ² Hasmyati

^{1,2}Prodi Pendidikan Jasmani Kesehatan dan Rekreasi, Fakultas Ilmu Keolahragaan dan Kesehatan, Universitas Negeri Makassar, Makassar, Indonesia

*Corresponding Author e-mail: hasyim.dikdas@unm.ac.id

Received: March 2026; Revised: April 2026; Published: May 2026

Abstrak

Tenaga kesehatan menghadapi risiko gangguan muskuloskeletal (musculoskeletal disorders/MSDs) akibat manual handling, postur statis atau tidak ergonomis, aktivitas berulang, dan beban fisik yang tinggi. Metode observasional seperti REBA dan Nordic Body Map bermanfaat untuk skrining, tetapi memiliki keterbatasan dalam menangkap paparan biomekanika secara kontinu selama aktivitas kerja. Kajian sebelumnya telah meninjau *wearable* untuk penilaian risiko ergonomi pada tenaga kesehatan; namun, hubungan antara jenis perangkat, parameter biomekanika yang diukur, aktivitas kerja, implikasi keselamatan/kinerja, dan hambatan implementasinya belum dirangkum secara terpadu, khususnya dengan mempertimbangkan konteks Indonesia. Penelitian ini bertujuan mensintesis pemanfaatan *wearable technology* dalam analisis biomekanika tenaga kesehatan melalui Systematic Literature Review (SLR). Literatur tahun 2020–2026 ditelusuri melalui Google Scholar, Scopus, PubMed, ScienceDirect, dan IEEE Xplore, kemudian diseleksi menggunakan alur PRISMA 2020 hingga diperoleh 20 artikel untuk sintesis utama dan kontekstual. Temuan menunjukkan tiga pola utama: (1) sensor inersia/motion sensing mendukung pemantauan postur dan gerak secara kontinu; (2) sEMG dan sensor fisiologis melengkapi evaluasi aktivitas otot dan kelelahan; dan (3) biofeedback serta sistem asistif menunjukkan potensi untuk mendukung koreksi ergonomi, meskipun bukti penurunan kejadian MSDs dan peningkatan produktivitas masih terbatas. Heterogenitas desain, populasi, perangkat, dan outcome membatasi penarikan kesimpulan kausal. Dengan demikian, *wearable* lebih kuat didukung sebagai alat pemantauan dan penilaian risiko dibanding sebagai intervensi yang telah terbukti menurunkan MSDs.

Kata kunci: Teknologi *Wearable*; Biomekanika; Tenaga Kesehatan; Ergonomi; Musculoskeletal Disorders (Msds).

Utilization of Wearable Technology for Biomechanical Analysis: A Systematic Review in Supporting the Safety and Performance of Healthcare Workers

Abstract

Healthcare workers are exposed to musculoskeletal disorder (MSD) risks arising from patient handling, sustained or non-ergonomic postures, repetitive activities, and high physical workloads. Conventional observational tools such as REBA and the Nordic Body Map are useful for screening but provide limited continuous information on biomechanical exposure during work. Previous reviews have addressed wearable technologies for ergonomic risk assessment in healthcare professionals; however, the links between device type, measured biomechanical parameter, work activity, safety/performance implications, and implementation barriers have not been synthesized in an integrated manner, particularly with attention to the Indonesian context. This study systematically reviews the use of wearable technology for biomechanical analysis among healthcare workers. Literature published from 2020 to 2026 was searched in Google Scholar, Scopus, PubMed, ScienceDirect, and IEEE Xplore and screened using a PRISMA 2020 flow, yielding 20 articles for the main and contextual synthesis. Three main patterns emerged: (1) inertial and motion-sensing systems support continuous posture and movement monitoring; (2) sEMG and physiological sensors complement assessments of muscle activity and fatigue; and (3) biofeedback and assistive systems show potential to support ergonomic correction, although evidence for reducing MSD incidence or improving productivity remains limited. Heterogeneity in study design, populations, devices, and outcomes limits causal inference. Overall, current evidence more strongly supports wearables as monitoring and risk-assessment tools than as proven interventions for preventing MSDs.

Keywords: wearable technology; biomechanics; healthcare workers; ergonomics; musculoskeletal disorders (MSDs).

How to Cite: Hasyim, H., & Hasmyati, H. (2026). Pemanfaatan Teknologi *Wearable* untuk Analisis Biomekanika: Tinjauan Sistematis dalam Mendukung Keselamatan dan Kinerja Tenaga Kesehatan. Multi Discere Journal, 5(1), 103-114. <https://doi.org/10.36312/z85kzr07>



<https://doi.org/10.36312/z85kzr07>

Copyright© 2026, Hasim et al.

This is an open-access article under the CC-BY-SA License.



PENDAHULUAN

Tenaga kesehatan menghadapi paparan biomekanika yang tinggi selama patient handling, pemindahan pasien, posisi kerja statis, aktivitas berulang, dan penggunaan alat klinis dalam durasi panjang. Paparan tersebut berkontribusi terhadap keluhan muskuloskeletal, terutama pada punggung bawah, leher, bahu, dan ekstremitas atas, yang pada akhirnya dapat memengaruhi kenyamanan kerja, absensi, dan performa pelayanan. Penilaian ergonomi konvensional seperti Rapid Entire Body Assessment (REBA) dan Nordic Body Map (NBM) masih luas digunakan karena sederhana dan mudah diterapkan, tetapi sebagian besar bersifat observasional atau berbasis keluhan sehingga tidak selalu menangkap perubahan postur, gerak, dan beban otot secara kontinu. Kebutuhan terhadap data objektif dan berulang selama aktivitas kerja mendorong penggunaan wearable technology sebagai pelengkap penilaian ergonomi. Perangkat seperti inertial measurement units (IMU), surface electromyography (sEMG), sensor fisiologis, smart clothing, dan sistem motion sensing dapat merekam parameter gerak dan aktivitas otot secara real-time atau near real-time, sehingga berpotensi meningkatkan sensitivitas pemantauan paparan biomekanika (Huang et al., 2023; Patel et al., 2022; Sabino, Fernandes, et al., 2024).

Literatur internasional menunjukkan bahwa wearable pada lingkungan kerja terutama berkembang untuk tiga fungsi: monitoring paparan, penilaian risiko ergonomi, dan pemberian umpan balik. Patel et al. (2022) menempatkan wearable sebagai bagian dari connected-worker solutions untuk keselamatan dan produktivitas, sedangkan Huang et al. (2023) menjelaskan kemampuan sensor-based wearable systems dalam mengukur gerakan dan postur. Pada tenaga kesehatan, Sabino, Fernandes, et al. (2024) secara khusus meninjau penerapan wearable untuk ergonomic risk assessment dan menemukan bahwa sensor inersia merupakan teknologi yang paling dominan serta bahwa implementasinya masih menghadapi hambatan di konteks pelayanan kesehatan. Temuan tersebut penting, tetapi kemampuan mengukur paparan tidak identik dengan bukti bahwa wearable menurunkan kejadian MSDs atau meningkatkan produktivitas. Oleh karena itu, argumentasi mengenai manfaat wearable perlu membedakan secara tegas antara measurement capability, risk identification, behavioural feedback, dan clinical/occupational outcomes.

Di Indonesia, bukti yang tersedia masih lebih banyak menggambarkan tingginya masalah ergonomi dan MSDs pada tenaga kesehatan dibanding menguji wearable secara langsung. Studi pada perawat dan pegawai rumah sakit menunjukkan bahwa postur, beban kerja, lama kerja, aktivitas fisik, dan kondisi lingkungan berhubungan dengan keluhan muskuloskeletal (Lataoso et al., 2024; Carwadi & Ramadhani, 2025; Ratsmita & Mirasuvita, 2025). Di sisi teknologi, pengembangan sistem portabel berbasis elektromiografi menunjukkan kesiapan awal pemantauan aktivitas dan kelelahan otot secara objektif (Rizki et al., 2025), tetapi bukti implementasi rutin pada tenaga kesehatan masih terbatas. Kondisi ini menunjukkan adanya jarak antara besarnya kebutuhan pemantauan biomekanika di fasilitas kesehatan dan ketersediaan evidence mengenai validitas, usability, biaya, integrasi alur kerja, serta dampak wearable terhadap outcome keselamatan kerja di Indonesia.

Research gap penelitian ini tidak ditempatkan pada klaim bahwa belum pernah ada review wearable pada tenaga kesehatan. Sebaliknya, review Sabino, Fernandes, et al. (2024) menjadi pembanding utama. Review tersebut berfokus pada wearable untuk ergonomic risk assessment pada healthcare professionals. Kajian ini memperluas fokus dengan memetakan hubungan antara jenis wearable, parameter biomekanika yang diukur, aktivitas kerja yang dipantau, implikasi terhadap keselamatan dan kinerja, serta hambatan implementasi; sekaligus membedakan bukti healthcare-specific dari literatur teknologi atau okupasi yang hanya bersifat kontekstual. Dengan kerangka tersebut, novelty kajian terletak pada sintesis komparatif device-parameter-task-outcome-implementation, bukan pada sekadar inventarisasi perangkat. Pendekatan ini juga memungkinkan identifikasi bagian evidence chain yang sudah cukup kuat, terutama monitoring postur dan gerak, dan bagian yang masih lemah, terutama bukti penurunan kejadian MSDs, produktivitas, cost-effectiveness, dan implementasi rutin.

Berdasarkan kesenjangan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk: (1) mengidentifikasi jenis wearable yang digunakan dalam analisis biomekanika terkait tenaga kesehatan; (2) memetakan parameter biomekanika dan aktivitas kerja yang dipantau; (3) membandingkan kontribusi wearable terhadap monitoring, identifikasi risiko, feedback/intervensi, serta outcome keselamatan dan kinerja; dan (4) mengidentifikasi keterbatasan dan hambatan implementasinya. Fokus kajian adalah wearable yang relevan dengan biomekanika dan ergonomi kerja. Literatur sensor kesehatan yang hanya memantau parameter fisiologis tanpa hubungan dengan biomekanika diposisikan sebagai konteks teknologi, bukan bukti langsung efektivitas ergonomi. Hasil kajian diharapkan menjadi dasar untuk penelitian validasi, pilot implementation, dan studi intervensi prospektif pada lingkungan pelayanan kesehatan, khususnya di Indonesia.

METODE

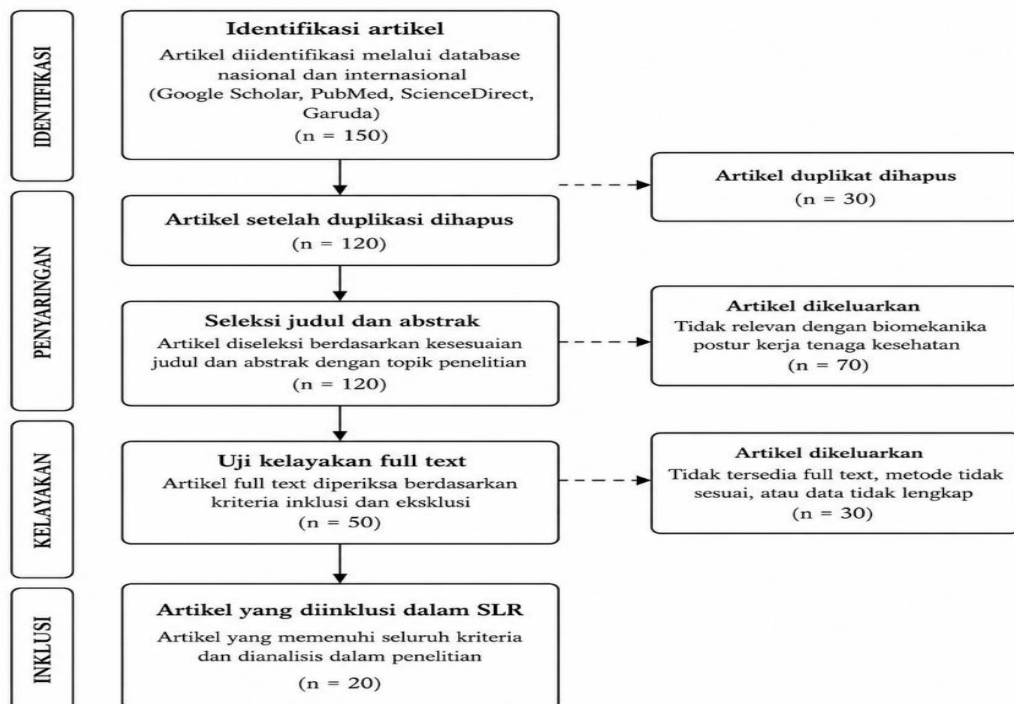
Penelitian ini menggunakan Systematic Literature Review (SLR) untuk mengidentifikasi dan mensintesis bukti mengenai pemanfaatan wearable technology dalam analisis biomekanika yang relevan dengan tenaga kesehatan. Pelaporan proses seleksi mengacu pada PRISMA 2020 (Page et al., 2021). Pertanyaan review dirumuskan dengan kerangka Population-Concept-Context: population mencakup tenaga kesehatan atau bukti okupasi yang memiliki transferabilitas langsung terhadap paparan biomekanika kerja; concept mencakup wearable sensor, IMU, sEMG, motion sensing, biofeedback, dan wearable assistive systems; dan context mencakup keselamatan kerja, ergonomi, biomekanika, serta performa pada lingkungan kerja kesehatan. Literatur umum/non-kesehatan tidak digunakan untuk menyimpulkan efektivitas pada tenaga kesehatan, tetapi hanya sebagai bukti kontekstual teknologi.

Pencarian dilakukan pada Google Scholar, Scopus, PubMed, ScienceDirect, dan IEEE Xplore untuk publikasi tahun 2020–2026. Istilah pencarian mengombinasikan kelompok kata kunci: (“wearable technology” OR “wearable sensor*” OR “inertial sensor*” OR “IMU” OR “surface electromyography” OR “sEMG” OR “biofeedback” OR “exoskeleton”) AND (“biomechanic*” OR “posture” OR “ergonomic*” OR “musculoskeletal”) AND (“healthcare worker*” OR “health professional*” OR “nurse*” OR “caregiver*” OR “occupational safety”). Strategi ini merepresentasikan

kombinasi istilah yang dilaporkan dalam naskah awal dan diperluas untuk memperjelas keterkaitan antara perangkat, outcome biomekanika, dan populasi. Artikel berbahasa Indonesia atau Inggris, tersedia full text, dan relevan dengan wearable/biomekanika/ergonomi dimasukkan. Editorial, berita, duplikasi, artikel tanpa full text, dan artikel tanpa keterkaitan dengan biomekanika atau keselamatan kerja dikeluarkan.

Proses seleksi mengikuti empat tahap PRISMA: identifikasi, penghapusan duplikasi, screening judul/abstrak, dan penilaian full text. Berdasarkan diagram alur, 150 rekaman teridentifikasi; 30 duplikasi dihapus sehingga 120 rekaman disaring; 70 rekaman dikeluarkan pada tahap judul/abstrak; 50 full text dinilai; dan 30 artikel dikeluarkan karena tidak tersedia full text, metode tidak sesuai, atau data tidak lengkap, sehingga 20 artikel masuk dalam sintesis. Pada revisi ini, artikel healthcare-specific dibedakan dari artikel teknologi/okupasi kontekstual agar generalisasi terhadap tenaga kesehatan tidak melampaui population evidence. Informasi mengenai tanggal pencarian terakhir, jumlah reviewer independen, dan mekanisme resolusi ketidaksepakatan perlu dilengkapi penulis bila data log pencarian tersedia.

Data diekstraksi secara terstruktur ke dalam kategori: sumber/tahun, populasi atau konteks, jenis perangkat/sensor, parameter biomekanika, aktivitas kerja, tujuan penggunaan (monitoring, risk assessment, feedback/intervention), temuan utama, dan keterbatasan. Karena studi sangat heterogen dalam desain, perangkat, populasi, dan outcome, meta-analisis tidak dilakukan; sintesis menggunakan pendekatan naratif-komparatif. Interpretasi dibatasi pada level bukti: kemampuan monitoring tidak dianggap setara dengan penurunan MSDs, dan bukti teknis pada populasi non-kesehatan tidak digunakan sebagai bukti langsung efektivitas pada tenaga kesehatan. Penilaian kualitas/risk of bias formal belum terdokumentasi pada naskah awal; karena itu, kesimpulan revisi menggunakan bahasa konservatif dan poin ini harus menjadi pri



Gambar 1. Diagram alur PRISMA

HASIL

Proses seleksi menghasilkan 20 artikel untuk sintesis utama dan kontekstual sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1. Evidence set bersifat heterogen: sebagian artikel secara langsung melibatkan tenaga kesehatan atau lingkungan rumah sakit, sedangkan sebagian lain merupakan studi teknologi, dataset biomekanika, atau konteks okupasi yang digunakan untuk menjelaskan kemampuan dan keterbatasan perangkat. Pemisahan ini penting agar bukti teknis tidak langsung ditafsirkan sebagai bukti efektivitas klinis/okupasional pada tenaga kesehatan. Secara umum, artikel dapat dikelompokkan ke dalam empat fungsi: (1) monitoring postur dan gerak menggunakan sensor inersia/motion sensing; (2) pengukuran aktivitas otot dan kelelahan menggunakan sEMG atau sensor terkait; (3) ergonomic risk assessment dan integrasi dengan metode observasional; serta (4) feedback atau wearable assistive systems. Temuan paling konsisten berada pada kemampuan monitoring dan identifikasi paparan, sedangkan bukti yang secara langsung menunjukkan penurunan kejadian MSDs atau peningkatan produktivitas masih terbatas.

Tabel 1. Sintesa Penelitian

No.	Fokus / Posisi Bukti	Sumber
1	Wearable untuk ergonomic risk assessment pada healthcare professionals; mendukung monitoring risiko dan corrective guidance, dengan hambatan implementasi yang masih ada.	Sabino, Fernandes, et al. (2024)
2	Wearable sensor systems untuk monitoring human motion dan posture; digunakan sebagai dasar capability sensor, bukan bukti outcome khusus tenaga kesehatan.	Huang et al. (2023)
3	Pengembangan aplikasi ergonomi untuk healthcare professionals; relevan pada usability dan assessment, bukan bukti penurunan MSDs.	Sabino, do Carmo Fernandes, et al. (2024)
4	User-centred app untuk tracking posture dan workload pada healthcare professionals; mendukung feasibility monitoring.	Sabino et al. (2025)
5	Real-time motion capture, reconstruction, dan musculoskeletal analysis; bukti metodologis/teknis, bukan studi khusus ahli bedah.	Lugrís et al. (2024)
6	Tinjauan advances in biomechanics-based motion analysis; digunakan sebagai konteks teknologi analisis gerak.	Ma et al. (2023)
7	Dataset lower-limb biomechanics dengan motion capture, IMU, kinetics, dan EMG pada aktivitas siklik/non-siklik; bukti teknis, bukan uji exoskeleton pada tenaga kesehatan.	Scherpereel et al. (2023)
8	Sensor pada lower-limb exoskeleton; menjelaskan peran sensor dan tantangan sistem asistif, bukan efektivitas klinis pada tenaga kesehatan.	Neřuková et al. (2022)
9	Scoping review wearable sensors untuk kesehatan pekerja industri; bukti kontekstual mengenai aplikasi dan implementasi pada occupational setting.	Moon & Ju (2024)

No.	Fokus / Posisi Bukti	Sumber
10	Wearable biosensors untuk continuous health monitoring; digunakan sebagai konteks sensor kesehatan, bukan bukti spesifik posture biofeedback.	Smith et al. (2023)
11	Faktor risiko MSDs pada perawat rumah sakit; memperkuat kebutuhan ergonomic monitoring di konteks healthcare Indonesia.	Lataoso et al. (2024)
12	Lingkungan, postur kerja, dan aktivitas fisik berhubungan dengan MSDs pada perawat; bukti kebutuhan monitoring, bukan bukti wearable.	Carwadi & Ramadhani (2025)
13	Postur kerja dan keluhan MSDs pada pekerja instalasi gizi rumah sakit; konteks healthcare ergonomics.	Salsabila (2022)
14	Gangguan muskuloskeletal akibat kerja pada pegawai rumah sakit dan faktor risikonya; konteks kebutuhan intervensi ergonomi.	Ratsmita & Mirasuvita (2025)
15	Sistem portabel berbasis elektromiografi untuk deteksi aktivitas dan kelelahan otot; bukti kesiapan teknologi, belum spesifik tenaga kesehatan.	Rizki et al. (2025)
16	Whole-body stretching menurunkan nyeri WMSDs/kelelahan pada perawat; pembandingan intervensi non-digital.	Ramadhani et al. (2025)
17	Review wearable workplace technologies untuk occupational safety, health, dan productivity; kerangka umum connected-worker.	Patel et al. (2022)
18	Wearable polymer-based sensors; konteks perkembangan material sensor, bukan bukti healthcare biomechanics.	Harito et al. (2020)
19	Applied exoskeleton technology dan human-robot interaction; konteks teknologi assistive, bukan bukti spesifik tenaga kesehatan.	Nazari et al. (2021)
20	Wearable device untuk pemantauan kardiorespirasi populasi klinis; konteks monitoring fisiologis, dibedakan dari biomechanical monitoring.	Syahrani et al. (2025)

Sensor inersia dan sistem motion sensing merupakan kelompok teknologi yang paling konsisten digunakan untuk mengukur orientasi, sudut, dan pola gerak tubuh. Huang et al. (2023) menunjukkan luasnya aplikasi wearable systems untuk human motion and posture monitoring, sedangkan Sabino, Fernandes, et al. (2024) menegaskan dominasi inertial sensors dalam ergonomic risk assessment pada healthcare professionals. Lugrís et al. (2024) memberikan bukti metodologis bahwa motion capture, reconstruction, dan musculoskeletal analysis dapat dilakukan secara real time; namun studi tersebut tidak secara spesifik membuktikan efektivitas pada ahli bedah. Oleh karena itu, kontribusi utama kelompok teknologi ini dalam review adalah measurement capability dan continuous monitoring, bukan bukti langsung pencegahan cedera.

Literatur mengenai exoskeleton dan wearable assistive systems memberikan dasar teknologi untuk dukungan gerak, tetapi harus ditafsirkan hati-hati. Neřuková et al. (2022) menegaskan peran sensor pada lower-limb exoskeleton, sedangkan Scherpereel et al. (2023) menyediakan dataset biomekanika dan wearable sensors pada berbagai aktivitas siklik dan non-siklik; studi tersebut bukan uji efektivitas exoskeleton pada pekerja kesehatan. Karena itu, pada evidence set ini, exoskeleton lebih tepat diposisikan sebagai teknologi potensial yang membutuhkan validasi khusus pada tugas klinis seperti patient handling daripada sebagai intervensi yang telah terbukti menurunkan beban fisik tenaga kesehatan.

sEMG dan sensor fisiologis menambah dimensi yang tidak tertangkap oleh observasi postur, terutama aktivitas otot dan indikator kelelahan. Rizki et al. (2025) menunjukkan feasibility sistem portabel berbasis elektromiografi untuk mendeteksi aktivitas dan kelelahan otot, sedangkan Smith et al. (2023) menempatkan wearable biosensors dalam kerangka monitoring kesehatan yang lebih luas. Namun, Smith et al. tidak dapat digunakan sebagai bukti spesifik bahwa inertial biofeedback mengoreksi postur kerja. Dengan demikian, sEMG relevan sebagai pelengkap analisis biomekanika, tetapi validitas, penempatan sensor, artefak gerak, dan kenyamanan pemakaian perlu dipertimbangkan sebelum implementasi lapangan.

Pada tenaga kesehatan, evidence yang paling langsung berkaitan dengan ergonomic risk assessment dan tracking posture/workload berasal dari rangkaian studi Sabino et al. (2024; 2025). Studi tersebut mendukung penggunaan wearable untuk mengidentifikasi paparan dan memandu corrective actions, tetapi juga menunjukkan adanya hambatan implementasi di lingkungan kesehatan. Literatur Indonesia memperkuat kebutuhan pemantauan melalui temuan tingginya keluhan MSDs serta hubungan postur, beban kerja, lama kerja, dan aktivitas fisik pada perawat/pegawai rumah sakit (Lataoso et al., 2024; Carwadi & Ramadhani, 2025; Ratsmita & Mirasuvita, 2025). Hubungan tersebut menjelaskan kebutuhan teknologi pemantauan, tetapi tidak dengan sendirinya membuktikan bahwa wearable akan menurunkan MSDs.

Perbandingan dengan metode ergonomi konvensional menunjukkan bahwa wearable sebaiknya diposisikan sebagai pelengkap, bukan pengganti otomatis, REBA atau NBM. REBA memberikan klasifikasi risiko berbasis observasi, sedangkan NBM memetakan keluhan yang dilaporkan pekerja; wearable menambahkan data kontinu mengenai postur, gerak, dan/atau aktivitas otot. Integrasi ketiganya dapat memperkuat triangulasi antara paparan objektif, penilaian risiko, dan keluhan subjektif. Akan tetapi, keunggulan teoritis tersebut masih perlu diuji melalui studi validasi head-to-head, feasibility, usability, cost-effectiveness, dan outcome jangka panjang pada tenaga kesehatan.

PEMBAHASAN

Sintesis menunjukkan bahwa kekuatan bukti wearable saat ini terutama berada pada level pengukuran: perangkat mampu merekam posture, movement, muscle activity, atau physiological signals secara lebih kontinu dibanding observasi sesaat. Temuan ini konsisten dengan Sabino, Fernandes, et al. (2024), yang melaporkan

dominasi inertial sensors dan potensi wearable untuk ergonomic risk assessment pada healthcare professionals. Kontribusi review ini adalah memperluas pembacaan tersebut dengan memetakan hubungan device-parameter-task-outcome-implementation dan membedakan secara eksplisit kemampuan monitoring dari bukti intervensi. Dengan cara ini, wearable tidak diperlakukan sebagai satu kategori teknologi yang seragam, melainkan sebagai sekumpulan alat dengan fungsi dan tingkat kematangan evidence yang berbeda.

Pada konteks Indonesia, bukti epidemiologis dari perawat dan pegawai rumah sakit menunjukkan bahwa risiko MSDs berkaitan dengan postur, beban kerja, lama kerja, aktivitas fisik, dan lingkungan kerja (Lataoso et al., 2024; Carwadi & Ramadhani, 2025; Ratsmita & Mirasuvita, 2025). Temuan ini memperkuat urgensi monitoring, tetapi tidak boleh dicampur dengan evidence wearable seolah-olah keduanya membuktikan efektivitas intervensi yang sama. Studi whole-body stretching (Ramadhani et al., 2025) menunjukkan bahwa intervensi non-digital juga dapat menurunkan keluhan/kelelahan, sehingga agenda penelitian wearable perlu membandingkan nilai tambah teknologi terhadap intervensi ergonomi yang lebih sederhana, bukan hanya terhadap kondisi tanpa intervensi.

Secara teknologi, IMU unggul untuk pemantauan orientasi dan gerak karena relatif portabel; sEMG memberi informasi langsung mengenai aktivitas otot tetapi lebih sensitif terhadap penempatan elektroda dan artefak; motion capture menawarkan detail kinematik yang tinggi tetapi dapat kurang praktis untuk penggunaan rutin; sedangkan exoskeleton dan biofeedback berpotensi memberikan dukungan atau koreksi aktif tetapi membutuhkan evaluasi usability dan keselamatan yang lebih ketat. Karena trade-off tersebut, pemilihan perangkat harus mengikuti task klinis dan outcome yang hendak diukur, bukan semata-mata kecanggihan sensor.

Beberapa keterbatasan penting muncul dari evidence set. Pertama, heterogenitas perangkat, desain, dan outcome menghambat perbandingan kuantitatif. Kedua, sebagian sumber adalah review, studi teknologi, atau studi pada populasi non-kesehatan sehingga transferabilitasnya terhadap healthcare workers terbatas. Ketiga, bukti masih lebih banyak menilai feasibility/monitoring daripada kejadian MSDs, absensi, produktivitas, atau cost-effectiveness. Keempat, implementasi nyata perlu mempertimbangkan kenyamanan, adherence, privasi data, keamanan siber, kebutuhan kalibrasi, biaya, dan potensi gangguan workflow. Karena itu, klaim manfaat harus dibatasi pada level evidence yang tersedia.

Implikasi praktisnya adalah wearable paling realistis digunakan sebagai bagian dari sistem ergonomic surveillance dan pilot risk-assessment, bukan langsung sebagai standar intervensi rumah sakit. Tahap implementasi yang disarankan mencakup validasi sensor terhadap reference method, uji usability dalam tugas klinis nyata, integrasi dengan REBA/NBM atau metode ergonomi lain, evaluasi respons tenaga kesehatan, dan studi prospektif untuk menilai apakah perubahan data biomekanika benar-benar diikuti penurunan keluhan MSDs atau perbaikan kinerja. Pendekatan bertahap ini lebih sesuai dengan kekuatan evidence yang tersedia.

CONCLUSION

Berdasarkan sintesis 20 artikel, bukti yang paling konsisten menunjukkan bahwa *wearable technology* dapat mendukung pemantauan objektif dan berkelanjutan terhadap postur, gerak, aktivitas otot, dan sebagian indikator kelelahan yang relevan dengan analisis biomekanika tenaga kesehatan. Sensor inersia/motion sensing terutama bermanfaat untuk monitoring gerak dan posture exposure, sedangkan sEMG melengkapi informasi mengenai aktivitas otot. Bukti mengenai biofeedback dan *wearable assistive systems* menjanjikan, tetapi masih lebih terbatas. Dengan demikian, *wearable* saat ini lebih kuat didukung sebagai alat monitoring dan ergonomic risk assessment daripada sebagai intervensi yang telah terbukti menurunkan kejadian MSDs atau meningkatkan produktivitas. Kajian ini juga menunjukkan bahwa evidence Indonesia masih didominasi studi faktor risiko MSDs dan belum banyak menguji implementasi *wearable* secara langsung pada tenaga kesehatan.

Keterbatasan utama review adalah heterogenitas desain, perangkat, populasi, dan outcome, serta adanya sumber teknologi/okupasi kontekstual yang tidak dapat digeneralisasikan langsung ke tenaga kesehatan. Penilaian quality/risk of bias formal juga belum terdokumentasi pada naskah awal. Penelitian berikutnya perlu memprioritaskan validasi sensor terhadap reference method, pilot implementation pada tugas klinis nyata, usability dan adherence, proteksi data, cost-effectiveness, serta studi prospektif yang menghubungkan perubahan parameter biomekanika dengan outcome MSDs dan kinerja. Dengan agenda tersebut, kontribusi *wearable* terhadap keselamatan kerja dapat dievaluasi secara lebih kuat dan proporsional.

RECOMMENDATION

Berdasarkan kekuatan evidence yang tersedia, rumah sakit belum disarankan mengadopsi *wearable* secara luas sebagai intervensi standar. Implementasi sebaiknya dimulai melalui pilot testing pada aktivitas berisiko tinggi, misalnya patient handling atau postur statis berkepanjangan. Setiap pilot perlu mencakup validasi akurasi, evaluasi usability dan kenyamanan, integrasi dengan REBA/NBM atau assessment ergonomi lain, tata kelola dan privasi data, serta indikator outcome yang jelas. Penelitian prospektif dan/atau intervensi terkontrol diperlukan untuk menentukan apakah perbaikan parameter biomekanika yang terdeteksi *wearable* benar-benar menghasilkan penurunan MSDs, absensi, atau peningkatan performa dan apakah manfaat tersebut sebanding dengan biaya implementasi.

REFERENSI

- Carwadi, C., & Ramadhani, F. (2025). Hubungan Lingkungan, Postur Kerja, Aktivitas Fisik Dengan Musculoskeletal Disorders Pada Perawat RSIA Kenari 2024. *Afiasi : Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 10(1), 22–29. <https://doi.org/10.31943/afiasi.v10i1.447>
- Harito, C., Utari, L., Putra, B. R., Yulianto, B., Purwanto, S., Zaidi, S. S. J., Bavykin, D. V., Marken, F., & Walsh, F. C. (2020, March 2). The Development of Wearable Polymer-Based Sensors: Perspectives. *arXiv.Org*. <https://doi.org/10.1149/1945-7111/ab697c>
- Huang, X., Xue, Y., Ren, S., & Wang, F. (2023). Sensor-Based Wearable Systems for Monitoring Human Motion and Posture: A Review. *Sensors*, 23(22), 9047. <https://doi.org/10.3390/s23229047>
- Lataoso, R., Saptaputra, S. K., & Jafriati. (2024). ANALISIS FAKTOR RISIKO ERGONOMI DENGAN KEMUNGKINAN TIMBULNYA KELUHAN MUSCULOSKELETAL DISORDERS PADA PERAWAT DI RUMAH SAKIT BHAYANGKARA TK. III TAHUN 2024. *Medika Alkhairaat: Jurnal Penelitian Kedokteran Dan Kesehatan*, 6(2), 479–495. <https://doi.org/10.31970/ma.v6i2.190>
- Lugrís, U., Pérez-Soto, M., Michaud, F., & Cuadrado, J. (2024). Human motion capture, reconstruction, and musculoskeletal analysis in real time. *Multibody System Dynamics*, 60(1), 3–25. <https://doi.org/10.1007/s11044-023-09938-0>
- Ma, C. Z.-H., Li, Z., & He, C. (2023). Advances in Biomechanics-Based Motion Analysis. *Bioengineering*, 10(6), 677. <https://doi.org/10.3390/bioengineering10060677>
- Moon, J., & Ju, B.-K. (2024). Wearable Sensors for Healthcare of Industrial Workers: A Scoping Review. *Electronics*, 13(19), 3849. <https://doi.org/10.3390/electronics13193849>
- Nazari, F., Mohajer, N., Nahavandi, D., Khosravi, A., & Nahavandi, S. (2021, November 25). Applied Exoskeleton Technology: A Comprehensive Review of Physical and Cognitive Human-Robot Interaction. *arXiv.Org*. <https://doi.org/10.1109/TCDS.2023.3241632>
- Neřuková, S., Bejtíc, M., Malá, C., Horáková, L., Kutílek, P., Kauler, J., & Krupička, R. (2022). Lower Limb Exoskeleton Sensors: State-of-the-Art. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 22(23), 9091. <https://doi.org/10.3390/s22239091>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., et al. (2021). The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *Systematic Reviews*, 10, 89. <https://doi.org/10.1186/s13643-021-01626-4>
- Patel, V., Chesmore, A., Legner, C. M., & Pandey, S. (2022). Trends in Workplace Wearable Technologies and Connected-Worker Solutions for Next-Generation Occupational Safety, Health, and Productivity. *Advanced Intelligent Systems*, 4(1), 2100099. <https://doi.org/10.1002/aisy.202100099>
- Ramadhani, R., Apriyanto, F., Joegijantoro, R., & Ndruru, H. K. (2025). Pengaruh Whole-Body Stretching Exercise Terhadap Nyeri Work-Related Musculoskeletal Diseases dan Kelelahan pada Perawat di Rumah Sakit. *Jurnal Kesehatan Panca Bhakti Lampung*, 13(1), 72–82. <https://doi.org/10.47218/jkpbl.v13i1.390>

- Ratsmita, F., & Mirasuvita, S. (2025). Analisis Faktor Risiko Terhadap Keluhan Gangguan Muskuloskeletal Akibat Kerja Pada Pegawai Rumah Sakit. *Journal of Medical Science*, 6(1), 114–123. <https://doi.org/10.55572/jms.v6i1.215>
- Rizki, M., Kirana, N. W., & Dewi, E. M. (2025). Rancang bangun sistem portabel pendeteksi aktivitas dan kelelahan otot berbasis sensor elektromiografi. *JITEL (Jurnal Ilmiah Telekomunikasi, Elektronika, Dan Listrik Tenaga)*, 5(2), 135–144. <https://doi.org/10.35313/jitel.v5.i2.2025.135-144>
- Sabino, I., do Carmo Fernandes, M., Mendes, B., Caldeira, C., Grazina, N., Cepeda, C., Quaresma, C., Gamboa, H., Nunes, I. L., & Gabriel, A. T. (2024). Ergo4workers: Usability Testing of the Second Prototype of an App for the Ergonomic Assessment of Healthcare Professionals. In P. M. Arezes, R. B. Melo, P. Carneiro, J. Castelo Branco, A. Colim, N. Costa, S. Costa, J. Duarte, J. C. Guedes, G. Perestrelo, & J. S. Baptista (Eds.), *Occupational and Environmental Safety and Health V* (pp. 99–108). Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-38277-2_8
- Sabino, I., Fernandes, M. do C., Antunes, A., Monteny, A., Mendes, B., Caldeira, C., Guimarães, I., Grazina, N., Probst, P., Cepeda, C., Quaresma, C., Gamboa, H., Nunes, I. L., & Gabriel, A. T. (2025). Ergo4Workers: A User-Centred App for Tracking Posture and Workload in Healthcare Professionals. *Sensors*, 25(18), 5854. <https://doi.org/10.3390/s25185854>
- Sabino, I., Fernandes, M. do C., Cepeda, C., Quaresma, C., Gamboa, H., Nunes, I. L., & Gabriel, A. T. (2024). Application of wearable technology for the ergonomic risk assessment of healthcare professionals: A systematic literature review. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 100, 103570. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2024.103570>
- Salsabila, A. (2022). Analisis Postur Kerja dan Keluhan Musculoskeletal Disorders (Msd) pada Pekerja di Instalasi Gizi Rumah Sakit Jiwa GRHASIA. *Jurnal Lentera Kesehatan Masyarakat*, 1, 97–105. <https://doi.org/10.69883/jlkm.v1i3.16>
- Scherpereel, K., Molinaro, D., Inan, O., Shepherd, M., & Young, A. (2023). A human lower-limb biomechanics and wearable sensors dataset during cyclic and non-cyclic activities. *Scientific Data*, 10(1), 924. <https://doi.org/10.1038/s41597-023-02840-6>
- Smith, A. A., Li, R., & Tse, Z. T. H. (2023). Reshaping healthcare with wearable biosensors. *Scientific Reports*, 13(1), 4998. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-26951-z>
- Syahrani, F. A., Berawi, K. N., Islami, S., & Mustofa, S. (2025). Pemanfaatan Wearable Device dalam Pemantauan Kardiorespirasi pada Populasi Klinis. *Jurnal Agromedicine Unila: Jurnal Kesehatan Dan Agromedicine*, 12(2), 57–67. <https://doi.org/10.23960/jka.v12i2.pp57-67>