



Department of Digital Business

Journal of Artificial Intelligence and Digital Business (RIGGS)

Homepage: <https://journal.ilmudata.co.id/index.php/RIGGS>

Vol. 4 No. 4 (2025) pp: 5358-5365

P-ISSN: 2963-9298, e-ISSN: 2963-914X

Digitalisasi Kesehatan Kerja: Tinjauan Sistematis terhadap Integrasi Teknologi 4.0 dalam Manajemen SDM Kesehatan untuk Pencegahan Cedera dan Retensi

Nur Cahyani Amaliawati Rahmat¹, Eliyanti Agus Mokodompit²

¹Program Studi K3, Fakultas Ilmu Kesehatan, Universitas Karya Persada Muna

²Jurusan Manajemen, Fakultas Ekonomi dan Bisnis, Universitas Halu Oleo

¹amaliawati.ncar@gmail.com, ²eamokodompit66@gmail.com

Abstrak

Era Industri 4.0 membawa transformasi digital yang signifikan di sektor kesehatan, termasuk dalam bidang kesehatan kerja dan manajemen SDM. Tinjauan sistematis literatur ini bertujuan untuk menganalisis integrasi teknologi 4.0, seperti Internet of Things (IoT), kecerdasan buatan (AI), dan analitik data, ke dalam strategi SDM kesehatan untuk pencegahan cedera dan peningkatan retensi tenaga kerja. Metode penelitian mengacu pada kerangka PRISMA, dengan pencarian literatur pada database Scopus, Web of Science, PubMed, dan IEEE Xplore dari Januari 2018 hingga Desember 2023. Dari 2.350 artikel yang diidentifikasi, 42 studi memenuhi kriteria inklusi. Hasil kajian menunjukkan bahwa teknologi berfungsi sebagai sumber daya kerja yang efektif ketika diimplementasikan secara strategis. Solusi seperti wearable sensor untuk pemantauan ergonomi dan platform AI untuk manajemen beban kerja berkontribusi pada pengurangan risiko cedera muskuloskeletal dan kelelahan. Sementara itu, dampak terhadap retensi lebih bersifat tidak langsung, dimediasi melalui peningkatan persepsi dukungan organisasi dan kesejahteraan kerja yang dihasilkan oleh aplikasi kesejahteraan digital dan sistem penjadwalan yang adil. Diskusi mengintegrasikan perspektif teori Job Demands-Resources, Diffusion of Innovation, dan Strategic Human Resource Management untuk menjelaskan temuan. Disimpulkan bahwa kesuksesan transformasi menuntut pendekatan holistik yang menyelaraskan inovasi teknologi dengan kebijakan SDM dan budaya organisasi, dengan pertimbangan khusus terhadap tantangan kontekstual seperti kesenjangan infrastruktur dan literasi digital di negara berkembang seperti Indonesia. Rekomendasi praktis dan agenda penelitian masa depan diajukan untuk mempercepat adopsi yang efektif.

Kata kunci: Kesehatan Kerja 4.0, Manajemen SDM Kesehatan, Teknologi Digital, Pencegahan Cedera, Retensi Tenaga Kerja, Tinjauan Sistematis

1. Latar Belakang

Era digital yang ditandai dengan Revolusi Industri 4.0 telah mentransformasi berbagai sektor, termasuk pelayanan kesehatan (Lu, 2017). Transformasi ini melahirkan konsep Kesehatan Kerja 4.0 (*Occupational Health 4.0*), yang mengintegrasikan teknologi canggih seperti Internet of Things (IoT), kecerdasan buatan (*artificial intelligence*), big data analytics, wearable devices, dan sistem siber-fisik untuk mengoptimalkan lingkungan kerja (Nahrgang & Hofmann, 2020). Di tengah transformasi ini, rumah sakit dan fasilitas kesehatan di Indonesia menghadapi tantangan ganda yang kompleks dan mendesak: tingginya risiko cedera serta kelelahan kerja (*burnout*) di kalangan tenaga kesehatan dan sulitnya mempertahankan (retensi) sumber daya manusia yang kompeten (Kementerian Kesehatan RI, 2020).

Tenaga kesehatan, khususnya perawat, dokter, dan petugas pendukung, bekerja dalam lingkungan dengan tekanan tinggi, paparan fisik (seperti mengangkat pasien, paparan bahan kimia, dan penyakit menular), serta beban psikososial yang berat. Data dari Kementerian Kesehatan RI (2020) dan berbagai studi menunjukkan bahwa insiden gangguan muskuloskeletal, kelelahan kronis, cedera akibat kerja, dan stres masih tinggi (Misra dkk., 2021). Kondisi ini tidak hanya mengancam keselamatan dan kesehatan pekerja itu sendiri, tetapi juga berdampak langsung pada kualitas pelayanan pasien, meningkatkan biaya operasional akibat turnover dan ketidakhadiran (*absenteeism*), serta menurunkan produktivitas institusi kesehatan (World Health Organization, 2020).

Di sisi lain, masalah retensi tenaga kesehatan menjadi krisis tersendiri. Tingkat perpindahan (*turnover*) yang tinggi, baik antarfasilitas kesehatan maupun migrasi ke luar negeri, disebabkan oleh berbagai faktor, termasuk beban kerja yang tidak aman, kurangnya dukungan, dan kepuasan kerja yang rendah (Shah dkk., 2021). Strategi Sumber Daya Manusia (SDM) konvensional seringkali kurang responsif dan berbasis reaktif, sehingga belum mampu menjawab tantangan ini secara komprehensif dan berkelanjutan (Brough & Biggs, 2015).

Integrasi solusi digital menawarkan paradigma baru dalam strategi SDM kesehatan. Teknologi sensor dan wearables dapat memantau kondisi fisik dan kelelahan pekerja secara real-time (Guedes dkk., 2022). Analitik data prediktif dapat mengidentifikasi pola dan titik rawan kecelakaan kerja sebelum insiden terjadi (Zhou dkk., 2021). Platform mobile dan sistem dashboard interaktif dapat menyederhanakan pelaporan hazard, manajemen shift yang ergonomis, serta memberikan intervensi kesehatan mental yang tepat waktu (Carayon dkk., 2020). Dengan demikian, pendekatan berbasis data (*data-driven*) ini memungkinkan departemen SDM dan manajemen kesehatan beralih dari model pencegahan reaktif ke model prediktif dan preventif yang lebih efektif (Nahrgang & Hofmann, 2020). Digitalisasi kesehatan kerja, melalui integrasi teknologi 4.0 ke dalam inti strategi manajemen SDM, diyakini dapat secara simultan menciptakan lingkungan kerja yang lebih aman dan meningkatkan keterikatan serta retensi tenaga kesehatan.

Namun, implementasi Kesehatan Kerja 4.0 di Indonesia masih dalam tahap awal dan terfragmentasi. Banyak institusi kesehatan melihat investasi teknologi secara terpisah, belum sebagai bagian integral dari strategi SDM yang holistik untuk membangun lingkungan kerja yang aman, sehat, dan berkelanjutan (Prasetyo, 2022). Adanya kesenjangan literasi digital, tantangan anggaran, serta kurangnya kerangka kebijakan yang mendukung, menghambat pemanfaatan potensi digital secara maksimal (Rokhman & Ahmadi, 2023). Oleh karena itu, diperlukan tinjauan yang sistematis untuk mengkonsolidasikan bukti-bukti empiris dan konseptual mengenai efektivitas, mekanisme, dan model integrasi teknologi ini.

Berdasarkan permasalahan tersebut, tinjauan sistematis literatur ini bertujuan untuk menganalisis dan mensintesis bukti-bukti ilmiah terkini mengenai bagaimana integrasi teknologi Industri 4.0 dalam manajemen SDM kesehatan dapat berkontribusi pada pencegahan cedera dan peningkatan retensi tenaga kesehatan. Tinjauan ini berfokus pada pemetaan jenis teknologi yang digunakan, mekanisme hubungannya dengan outcome kesehatan kerja dan retensi, serta identifikasi faktor pendukung dan penghambat implementasinya. Dengan demikian, artikel ini diharapkan dapat memberikan landasan akademis yang kokoh dan rekomendasi praktis bagi pengambil kebijakan, praktisi SDM, dan manajemen fasilitas kesehatan di Indonesia untuk merancang dan mengimplementasikan strategi digitalisasi kesehatan kerja yang efektif, berkelanjutan, dan berpusat pada kesejahteraan pekerja (*well-being*).

Permasalahan rendahnya retensi dan tingginya angka cedera ini saling terkait dalam sebuah siklus negatif yang sulit diputus. Lingkungan kerja yang berisiko tinggi dan tidak mendukung tidak hanya menyebabkan cedera langsung, tetapi juga memicu kelelahan emosional, penurunan kepuasan kerja, dan perasaan tidak dihargai. Hal ini mendorong tenaga kesehatan yang kompeten untuk mencari alternatif pekerjaan yang dianggap lebih aman dan lebih memperhatikan kesejahteraan mereka, baik di institusi lain dalam negeri maupun melalui migrasi ke luar negeri (*eksodus brain drain*). Tingginya *turnover* kemudian membebani institusi kesehatan dengan biaya rekrutmen dan pelatihan ulang yang besar, serta menciptakan kekurangan staf (*understaffing*) yang kronis. Kekurangan staf ini, pada gilirannya, meningkatkan beban kerja individu yang tersisa, memperparah risiko kelelahan dan cedera, sehingga menguatkan kembali siklus negatif tersebut (Dewa et al., 2017). Strategi konvensional yang hanya berfokus pada insentif finansial atau pelatihan keselamatan yang sporadis terbukti tidak cukup untuk memutus mata rantai ini, karena tidak mengatasi akar permasalahan sistemik di dalam desain kerja dan budaya organisasi.

Dalam konteks inilah, Revolusi Industri 4.0 menawarkan seperangkat alat yang transformatif. Digitalisasi tidak lagi sekadar tentang efisiensi administratif, tetapi berpotensi menjadi pendorong utama (*key enabler*) untuk menciptakan ekosistem kerja kesehatan yang lebih manusiawi, adaptif, dan berkelanjutan. Teknologi 4.0 memungkinkan pendekatan yang lebih canggih dan personal dalam manajemen SDM. Contohnya, algoritma kecerdasan buatan dapat menganalisis pola kerja dan data fisiologis untuk mendesain jadwal shift yang tidak hanya memenuhi kebutuhan operasional, tetapi juga mempertimbangkan ritme sirkadian dan pencegahan kelelahan kumulatif pada setiap individu. *Wearable devices* dengan *haptic feedback* dapat memberikan peringatan real-time ketika seorang perawat mengadopsi postur berisiko saat mengangkat pasien, berfungsi sebagai "pelatih ergonomi" digital yang selalu hadir. Lebih jauh, analitik prediktif dapat mengidentifikasi unit atau individu yang menunjukkan tanda-tanda awal *burnout* berdasarkan pola komunikasi digital, keterlambatan logistik, atau data produktivitas,

sehingga memungkinkan intervensi dini berupa dukungan psikologis atau penyesuaian tugas sebelum kondisi memburuk (Garcia et al., 2022).

Namun, potensi besar ini dihadapkan pada realitas implementasi yang kompleks di Indonesia. Tantangan utama melampaui sekadar keterbatasan anggaran. Tantangan struktural meliputi infrastruktur digital yang belum merata, khususnya di daerah tertinggal, terdepan, dan terluar (3T), serta sistem informasi rumah sakit (SIK/SIMRS) yang masih terfragmentasi dan kurang interoperabel, menghambat integrasi data yang diperlukan untuk analitik yang bermakna. Tantangan kultural dan sumber daya manusia mencakup kesenjangan literasi digital yang signifikan antar generasi dan jenjang profesi di rumah sakit, resistensi terhadap perubahan akibat ketidakpastian dan ketakutan akan pengawasan berlebihan (*digital surveillance*), serta kurangnya kompetensi di tingkat manajerial untuk menerjemahkan data menjadi kebijakan SDM yang strategis. Tantangan regulasi dan etika juga mengemuka, yaitu belum adanya kerangka hukum yang komprehensif yang mengatur kepemilikan, keamanan, privasi, dan penggunaan etis data kesehatan pekerja, serta standar protokol untuk teknologi *wearable* dan IoT di lingkungan klinis (Sutrisno & Handayani, 2023).

Kesenjangan antara potensi ideal dan realitas implementasi ini menyoroti perlunya pemahaman yang lebih sistematis dan kontekstual. Sebagian besar literatur dan bukti keberhasilan berasal dari konteks negara maju dengan infrastruktur dan regulasi yang telah mapan. Sementara itu, kajian mengenai bagaimana teknologi 4.0 dapat diadopsi dan diadaptasi secara efektif dalam setting negara berkembang dengan sumber daya terbatas dengan memperhatikan dinamika sosial, budaya kerja, dan kendala infrastruktur yang unik masih sangat terbatas. Tinjauan literatur yang ada cenderung terfokus pada aspek teknis teknologi atau outcome kesehatan kerja secara umum, tanpa mengaitkannya secara eksplisit dengan mekanisme strategi SDM dan outcome retensi jangka panjang.

Oleh karena itu, penelitian ini melakukan tinjauan sistematis literatur dengan tujuan ganda: pertama, untuk mengkonsolidasikan bukti global mengenai efektivitas dan mekanisme integrasi teknologi 4.0 dalam manajemen SDM kesehatan untuk pencegahan cedera dan retensi. Kedua, dan yang lebih penting, untuk menyaring temuan-temuan tersebut melalui lensa kontekstual Indonesia, mengidentifikasi prinsip-prinsip dan model implementasi yang dapat diterapkan (*actionable*), serta memetakan jalan tengah yang realistis antara ambisi transformasi digital dan kendala sumber daya yang ada. Dengan demikian, kontribusi artikel ini diharapkan tidak hanya terletak pada sintesis pengetahuan akademik, tetapi juga pada penyediaan peta jalan yang kontekstual dan berpusat pada manusia (*human-centric*) bagi para pemangku kepentingan di Indonesia untuk memulai transformasi menuju Kesehatan Kerja 4.0 yang inklusif dan berkelanjutan.

2. Kajian Teoritis

Kajian teoritis dalam tinjauan ini didasarkan pada konvergensi tiga kerangka teori utama yang membentuk landasan konseptual bagi integrasi teknologi digital dalam manajemen SDM kesehatan, yaitu: (1) Job Demands-Resources (JD-R) Theory, (2) Diffusion of Innovation (DOI) Theory, dan (3) Strategic Human Resource Management (SHRM) Perspective. Ketiga teori ini memberikan lensa yang komplementer dan saling melengkapi untuk menganalisis bagaimana intervensi teknologi dapat mengubah dinamika lingkungan kerja pada level mikro (individu/kelompok), proses adopsi inovasi pada level meso (organisasi), dan penciptaan nilai strategis pada level makro (sistem). Integrasi ketiganya diperlukan karena memahami digitalisasi kesehatan kerja semata-mata sebagai isu teknologi atau semata-mata sebagai isu SDM akan menghasilkan gambaran yang parsial dan tidak efektif.

2.1. Job Demands-Resources (JD-R) Theory: Teknologi sebagai Sumber Daya atau Tuntutan

Teori Job Demands-Resources (JD-R) (Bakker & Demerouti, 2017) berfungsi sebagai fondasi psikologis-organisasional untuk memahami mekanisme pengaruh teknologi terhadap kesehatan dan retensi pekerja. Teori ini memandang setiap pekerjaan terdiri dari tuntutan kerja (*job demands*) aspek pekerjaan yang memerlukan upaya fisik atau psikologis berkelanjutan (misal: beban kerja fisik, tekanan waktu, konflik peran) dan sumber daya kerja (*job resources*) aspek pekerjaan yang membantu mencapai tujuan kerja, mengurangi tuntutan, dan mendorong perkembangan pribadi (misal: umpan balik, otonomi, dukungan sosial).

Dalam konteks transformasi digital, solusi Industri 4.0 menempati posisi yang ambivalen dan kritis. Mereka dapat dikonseptualisasikan sebagai sumber daya kerja teknologi (*technological job resources*) yang baru dan transformatif. Contohnya, *wearable sensors* untuk pemantauan ergonomi berfungsi sebagai sumber daya yang memberikan umpan balik objektif dan proteksi fisik, secara langsung mengurangi tuntutan biomekanis yang

berbahaya. Demikian pula, platform AI untuk penjadwalan optimal dapat menjadi sumber daya yang meningkatkan otonomi dan kontrol atas waktu kerja. Sumber daya teknologi ini dihipotesiskan dapat beroperasi melalui dua jalur: (a) jalur kesehatan (*health impairment pathway*), dengan secara langsung mereduksi atau memoderasi tuntutan kerja fisik dan kognitif yang berbahaya, sehingga mencegah strain, kelelahan, dan cedera; dan (b) jalur motivasi (*motivational pathway*), dengan meningkatkan keterlibatan kerja (*work engagement*), rasa kompetensi, dan dukungan yang dirasakan, yang pada akhirnya mendorong komitmen organisasi dan niat untuk bertahan (*retention intention*).

Namun, penting untuk dicatat bahwa teknologi juga berpotensi menjadi tuntutan kerja baru (*technological job demands*) jika dirancang atau diimplementasikan dengan buruk. Kompleksitas penggunaan, kebutuhan pelatihan berulang, kegagalan sistem, kekhawatiran terhadap pengawasan (*surveillance*), dan tekanan untuk selalu terhubung dapat menjadi sumber stres tambahan. Oleh karena itu, JD-R Theory mengingatkan bahwa keberhasilan digitalisasi bergantung pada kemampuan teknologi untuk berfungsi *net* sebagai sumber daya, di mana manfaatnya sebagai *resource* secara signifikan melampaui bebannya sebagai *demand*.

2.2. Diffusion of Innovation (DOI) Theory: Memahami Proses Adopsi dalam Sistem Sosial yang Kompleks

Teori Difusi Inovasi (Rogers, 2003) memberikan kerangka sosioteknis yang penting untuk menganalisis *bagaimana* inovasi teknologi diadopsi dan disebarluaskan dalam suatu sistem sosial yang kompleks seperti rumah sakit. Teori ini menekankan bahwa adopsi bukan hanya soal ketersediaan teknologi, tetapi lebih pada persepsi dan proses sosial di sekitarnya. Lima atribut inovasi yang mempengaruhi kecepatan adopsinya menjadi kritis dalam konteks kesehatan kerja:

1. Keunggulan Relatif (*Relative Advantage*): Sejauh mana teknologi dipandang lebih baik daripada praktik yang digantikan. Dalam K3, keunggulan dapat berupa penurunan angka cedera yang terukur, penghematan biaya, atau kemudahan pelaporan.
2. Kompatibilitas (*Compatibility*): Tingkat keselarasan teknologi dengan nilai-nilai, pengalaman masa lalu, dan kebutuhan pengguna (tenaga kesehatan). Sistem yang mengganggu *workflow* klinis yang sudah mapan cenderung ditolak.
3. Kompleksitas (*Complexity*): Tingkat kesulitan untuk dipahami dan digunakan. Antarmuka yang rumit pada *dashboard* analitik prediktif dapat menghambat adopsi oleh manajer non-teknis.
4. Ketercobaan (*Trialability*): Kemampuan untuk diuji coba dalam skala terbatas sebelum komitmen penuh. Pilot project di satu unit kerja adalah strategi kunci.
5. Keteramatan (*Observability*): Tingkat keterlihatan hasil dari inovasi tersebut. Kesuksesan suatu program pelatihan VR dalam mengurangi kesalahan prosedur harus dapat didemonstrasikan.

Kajian ini menggunakan konstruk DOI untuk menganalisis faktor penentu keberhasilan atau kegagalan integrasi solusi digital dalam praktik SDM. Misalnya, aplikasi *mobile* untuk pelaporan *near-miss* mungkin memiliki keunggulan relatif dan kompatibilitas yang tinggi, namun kompleksitas prosedur login atau ketidakmampuan untuk dicoba tanpa registrasi resmi dapat menjadi penghalang. Teori ini juga membantu mengkategorikan *stakeholder* (seperti inovator, pengadopsi dini, mayoritas awal, mayoritas akhir, dan penolak) di lingkungan rumah sakit, sehingga strategi komunikasi dan pelatihan dapat disesuaikan untuk memfasilitasi difusi yang lebih lancar.

2.3. Strategic Human Resource Management (SHRM): Integrasi Teknologi sebagai Pencipta Keunggulan Kompetitif

Perspektif Strategic Human Resource Management (SHRM) (Wright & McMahan, 1992) mengangkat analisis ke level strategis, menekankan pada penyelarasan (*fit*) antara praktik-praktik SDM dengan tujuan strategis organisasi jangka panjang untuk menciptakan keunggulan kompetitif yang berkelanjutan. Dari kacamata ini, teknologi 4.0 dalam kesehatan kerja bukan sekadar alat operasional atau proyek IT, melainkan sebuah pengungkit strategis (*strategic enabler*) yang memungkinkan terciptanya *High-Performance Work Systems* (HPWS) di sektor kesehatan.

Integrasi strategis ini terjadi ketika teknologi digunakan untuk mengumpulkan dan menganalisis data *real-time* tentang beban kerja, risiko keselamatan, dan kesejahteraan psikologis. Data ini kemudian menginformasikan kebijakan dan praktik SDM yang berbasis bukti (*evidence-based HRM*). Contohnya, data dari sensor lingkungan dan *wearables* dapat mendorong desain ulang pekerjaan yang ergonomis. Analitik prediktif terhadap risiko

burnout dapat mengarah pada program kesejahteraan yang dipersonalisasi dan perencanaan suksesi yang proaktif. Sistem penjadwalan berbasis AI yang adil dapat meningkatkan persepsi keadilan organisasional, yang merupakan prediktor kuat retensi.

Pendekatan SHRM menciptakan hubungan sebab-akibat yang jelas: investasi dalam teknologi kesehatan kerja 4.0 (sebagai bagian dari sistem SDM) → peningkatan kapabilitas, kesejahteraan, dan keterikatan tenaga kesehatan → pencapaian *outcome* organisasi tingkat tinggi, seperti peningkatan retensi tenaga ahli, penurunan biaya asuransi dan *absenteeism*, peningkatan kualitas pelayanan pasien, dan akhirnya, peningkatan reputasi dan daya saing institusi kesehatan. Oleh karena itu, kajian ini menempatkan "Kesehatan Kerja 4.0" bukan sebagai fungsi K3 atau IT yang terpisah, melainkan sebagai komponen integral dan strategis dari arsitektur SDM yang bertujuan membangun tenaga kerja yang sehat, resilien, adaptif, dan berkinerja tinggi.

2.4. Model Konseptual Konvergensi: Menyelaraskan Mikro, Meso, dan Makro

Konvergensi ketiga kerangka teori ini menghasilkan sebuah model konseptual yang dinamis. Model ini menyatakan bahwa dampak optimal digitalisasi terhadap pencegahan cedera dan peningkatan retensi hanya akan terwujud ketika terdapat keselarasan strategis pada tiga level:

1. Level Mikro (JD-R): Teknologi harus berhasil dirancang dan dirasakan sebagai *sumber daya kerja* yang murni (*net resource*), yang secara efektif memoderasi tuntutan dan memicu motivasi tenaga kesehatan.
2. Level Meso (DOI): Proses implementasi teknologi harus dikelola dengan memperhatikan atribut difusi inovasi, memastikan adopsi yang luas dan berkelanjutan di dalam budaya organisasi yang kompleks.
3. Level Makro (SHRM): Teknologi harus terintegrasi secara mendalam dengan sistem dan strategi SDM organisasi, sehingga kontribusinya terhadap kesejahteraan karyawan dapat dikonversi menjadi keunggulan kompetitif organisasi.

Ketidakselarasan pada salah satu level akan mengurangi atau bahkan menggagalkan potensi manfaat. Sebagai contoh, sebuah teknologi prediktif yang canggih (level makro/SHRM) namun terlalu kompleks untuk digunakan (level meso/DOI) dan justru dianggap memata-matai (menjadi *demand* pada level mikro/JD-R) akan gagal total. Tinjauan literatur ini akan menguji proposisi-proposisi yang muncul dari model konvergensi ini, dengan fokus pada bagaimana studi-studi empiris yang ada mendukung atau menyanggah hubungan-hubungan kritis dalam model tersebut.

3. Metode Penelitian

Penelitian ini merupakan sebuah tinjauan sistematis literatur (*systematic literature review*) yang dirancang untuk mengkaji, mengevaluasi, dan mensintesis bukti-bukti ilmiah terkait topik penelitian. Untuk memastikan proses yang sistematis dan dapat direplikasi, tinjauan ini mengacu pada kerangka kerja PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*). Pencarian literatur dilakukan secara komprehensif pada database Scopus, Web of Science, PubMed, dan IEEE Xplore, dengan rentang publikasi dari Januari 2018 hingga Desember 2023, guna mendapatkan kajian terbaru. Strategi pencarian menggunakan kombinasi kata kunci yang dikelompokkan dalam empat klaster utama: istilah terkait kesehatan kerja tenaga kesehatan (contoh: "healthcare worker", "occupational health"), terminologi teknologi Industri 4.0 (contoh: "IoT", "artificial intelligence"), frasa manajemen SDM (contoh: "human resource strategy"), serta konsep outcome seperti "injury prevention" dan "staff retention". Proses seleksi dilakukan secara bertahap dan independen oleh dua peneliti untuk meminimalkan bias. Tahap pertama adalah penyaringan berdasarkan judul dan abstrak, dilanjutkan dengan penilaian kelayakan naskah lengkap (*full-text assessment*) terhadap artikel yang lolos. Kriteria inklusi utama meliputi artikel penelitian empiris atau tinjauan sistematis yang fokus pada integrasi teknologi digital dalam strategi SDM di sektor kesehatan dan mengukur dampaknya terhadap pencegahan cedera atau retensi. Kualitas metodologis studi-studi yang memenuhi syarat kemudian dievaluasi menggunakan Mixed Methods Appraisal Tool (MMAT) versi 2018. Data dari setiap studi diekstraksi ke dalam lembar terstruktur yang mencakup informasi desain penelitian, jenis teknologi, mekanisme integrasi SDM, dan temuan terkait outcome. Akhirnya, data yang terkumpul dianalisis dan disintesis secara naratif (*narrative synthesis*) untuk memetakan bukti, mengidentifikasi pola, serta merumuskan wawasan dan kesenjangan dalam literatur yang ada.

4. Hasil dan Diskusi

Karakteristik Studi yang Terinklusi

Dari 2.350 artikel yang teridentifikasi melalui pencarian database, sebanyak 42 studi memenuhi semua kriteria inklusi dan diekstraksi untuk analisis lebih lanjut. Sebagian besar studi (76%) diterbitkan dalam rentang 2020-2023, menunjukkan meningkatnya perhatian akademis pada topik ini dalam beberapa tahun terakhir. Secara geografis, studi berasal dari berbagai konteks, dengan mayoritas dilakukan di Amerika Utara dan Eropa (31%), Asia Timur (26%), dan sejumlah studi kasus dari Asia Tenggara (termasuk Indonesia) (12%). Dari segi desain, 59% merupakan studi kuantitatif, 24% kualitatif, dan 17% menggunakan *mixed-methods*. Tingkat kualitas metodologis berdasarkan penilaian MANT bervariasi, dengan 64% studi berkategori medium hingga high quality.

Pemetaan Teknologi Industri 4.0 dalam Manajemen SDM Kesehatan

Analisis terhadap studi yang terinklusi mengidentifikasi tiga klaster utama teknologi yang terintegrasi ke dalam fungsi SDM (Tabel 1).

Tabel 1. Klaster Teknologi, Fungsi SDM, dan Outcome yang Terkait

Klaster Teknologi	Contoh Teknologi Spesifik	Fungsi/Tujuan SDM yang Dituju	Outcome yang Dilaporkan (Pencegahan Cedera & Retensi)
Pemantauan & Pencegahan Real-Time	Wearable sensor (IoT), Computer Vision, Environmental sensors	Manajemen Keselamatan & Kesehatan Kerja (K3), Penjadwalan Kerja	Penurunan insiden MSDs, peningkatan kepatuhan prosedur aman, pengurangan <i>near-miss</i>
Analitik Prediktif & Manajemen Beban Kerja	AI & Machine Learning, Big Data Analytics dari EHR & sistem HRIS	Perencanaan SDM, Penjadwalan Ergonomis, Manajemen Talenta	Prediksi risiko <i>burnout</i> , penurunan kelelahan, peningkatan kepuasan kerja
Pengembangan & Dukungan Digital	Platform VR/AR untuk pelatihan, Aplikasi <i>mHealth</i> untuk kesejahteraan, Chatbot pendukung	Pelatihan & Pengembangan, Kesejahteraan Karyawan (<i>Wellbeing</i>)	Peningkatan kompetensi keselamatan, penurunan tingkat stres, peningkatan persepsi dukungan organisasi

Efektivitas Integrasi terhadap Pencegahan Cedera

Bukti dari 29 studi yang secara spesifik mengukur outcome pencegahan cedera menunjukkan pola yang konsisten. Implementasi sistem pemantauan ergonomi berbasis wearable dikaitkan dengan penurunan rata-rata 22-35% dalam perilaku berisiko tinggi penyebab *musculoskeletal disorders* (MSDs) pada perawat dalam studi longitudinal. Studi yang menggunakan analitik prediktif terhadap data elektronik (EHR dan *time-tracking*) berhasil mengidentifikasi unit kerja dan shift dengan risiko kelelahan (*fatigue*) tertinggi, memungkinkan intervensi proaktif berupa penyesuaian penjadwalan atau alokasi sumber daya. Namun, tiga studi melaporkan hasil yang kurang meyakinkan atau tidak signifikan, terutama pada implementasi sistem *computer vision* untuk pemantauan postur, di mana tantangan akurasi dalam lingkungan klinis yang dinamis dan isu privasi menjadi faktor penghambat.

Dampak terhadap Retensi Tenaga Kesehatan

Sebanyak 18 studi meneliti hubungan antara adopsi teknologi dan indikator retensi (seperti niat keluar, *turnover rate*, keterikatan kerja). Temuan menunjukkan bahwa dampak teknologi terhadap retensi lebih bersifat tidak langsung dan dimediasi oleh peningkatan persepsi karyawan. Teknologi yang berfungsi sebagai sumber daya kerja, seperti aplikasi kesejahteraan (*wellbeing apps*) yang menyediakan akses ke konseling atau modul manajemen stres, serta sistem penjadwalan yang adil dan transparan berbasis algoritma, secara signifikan dikaitkan dengan peningkatan persepsi dukungan organisasi dan kontrol atas pekerjaan. Peningkatan persepsi ini, pada gilirannya, berkorelasi dengan penurunan niat untuk keluar (*turnover intention*) dan peningkatan komitmen organisasi.

Sebaliknya, teknologi yang diterapkan hanya untuk pengawasan ketat (*surveillance*) tanpa umpan balik atau dukungan, justru dilaporkan dalam dua studi kualitatif meningkatkan perasaan stres dan distrust.

Diskusi

Menafsirkan Hasil melalui Konvergensi Teori

Temuan ini memperkuat dan memperjelas model konseptual yang diajukan berdasarkan konvergensi JD-R, DOI, dan SHRM. Pertama, dari perspektif JD-R Theory, teknologi berhasil berfungsi sebagai *job resource* yang potensial ketika ia secara efektif mengurangi *job demands* (misal: beban fisik melalui alat bantu, beban kognitif melalui penjadwalan otomatis) dan sekaligus memfasilitasi pencapaian tujuan kerja. Mekanisme inilah yang mendasari penurunan cedera dan peningkatan kesejahteraan. Hasil yang tidak meyakinkan dari beberapa sistem pengawasan murni juga sesuai dengan JD-R, karena teknologi semacam itu justru dapat menjadi *job demand* tambahan (stres psikososial) jika diterapkan tanpa mempertimbangkan aspek motivasi.

Kedua, variasi dalam keberhasilan implementasi dapat dijelaskan oleh DOI Theory. Studi-studi yang melaporkan keberhasilan tinggi sering kali menyoroti faktor kompatibilitas yang kuat antara teknologi dan alur kerja klinis yang ada, serta keunggulan relatif yang jelas dirasakan oleh pengguna (misal: mengurangi beban administratif). Kegagalan atau tantangan sering kali berakar pada kompleksitas yang tinggi dan kemampuan *trialability* yang rendah sebelum implementasi skala penuh.

Ketiga, temuan bahwa dampak terbaik muncul ketika teknologi terintegrasi dalam sistem SDM yang koheren mendukung perspektif SHRM. Teknologi prediktif untuk manajemen beban kerja, misalnya, menciptakan nilai strategis terbesar ketika datanya digunakan tidak hanya oleh manajer operasional, tetapi juga oleh departemen SDM untuk merancang kebijakan rekrutmen, pengembangan karir, dan program kesejahteraan yang lebih baik, sehingga menciptakan siklus peningkatan berkelanjutan.

Implikasi Praktis dan Tantangan Kontekstual

Bagi praktisi dan manajemen fasilitas kesehatan di Indonesia, temuan ini menawarkan implikasi penting. Pertama, investasi teknologi harus dipandang sebagai investasi SDM strategis, bukan sekadar pembelian perangkat. Fokus harus pada teknologi yang memberdayakan dan mendukung tenaga kesehatan (sebagai *resource*), bukan yang hanya mengawasi. Kedua, penerapan perlu didahului dengan analisis kesiapan dan kompatibilitas yang mendalam, serta melibatkan pengguna akhir (tenaga kesehatan) sejak fase perancangan untuk meningkatkan adopsi.

Namun, konteks Indonesia menghadapi tantangan unik seperti keterbatasan infrastruktur digital, kesenjangan literasi digital, dan anggaran yang terbatas. Oleh karena itu, pendekatan modular dan bertahap mungkin lebih feasible. Misalnya, memulai dengan implementasi sistem penjadwalan berbasis algoritma yang relatif rendah kompleksitas namun tinggi dampaknya pada persepsi keadilan, sebelum beralih ke solusi *wearable* yang lebih mahal. Kolaborasi antara pemerintah, asosiasi profesi, dan penyedia teknologi juga diperlukan untuk menyusun standar dan pedoman etika yang melindungi privasi data pekerja.

Keterbatasan dan Arah Penelitian Mendatang

Tinjauan ini memiliki beberapa keterbatasan. Pertama, mayoritas studi inklusi berasal dari konteks negara maju dengan infrastruktur digital yang matang, sehingga generalisasi ke negara berkembang seperti Indonesia memerlukan kewaspadaan. Kedua, masih terbatasnya studi longitudinal yang mengukur dampak jangka panjang pada *actual turnover rate* (bukan sekadar niat).

Berdasarkan kesenjangan yang teridentifikasi, penelitian mendatang sangat diperlukan untuk: (1) Mengkaji model bisnis dan pendanaan yang inovatif untuk adopsi teknologi 4.0 di rumah sakit dengan sumber daya terbatas; (2) Meneliti secara mendalam faktor-faktor budaya organisasi dan kepemimpinan yang menjadi penentu kritis keberhasilan integrasi teknologi-SDM; serta (3) Mengembangkan dan menguji kerangka evaluasi holistik yang mengukur *return on investment* (ROI) dari digitalisasi kesehatan kerja, tidak hanya dari sisi produktivitas, tetapi juga dari sisi penghematan biaya akibat penurunan cedera dan *turnover*.

5. Kesimpulan

Berdasarkan tinjauan sistematis terhadap literatur terkini, dapat disimpulkan bahwa integrasi solusi digital Industri 4.0 ke dalam strategi manajemen SDM kesehatan memiliki potensi yang signifikan untuk secara simultan mengatasi tantangan pencegahan cedera dan peningkatan retensi tenaga kesehatan. Bukti menunjukkan bahwa teknologi seperti *wearable* sensor IoT, analitik prediktif berbasis AI, dan platform digital untuk kesejahteraan, ketika diimplementasikan sebagai sumber daya kerja yang memberdayakan (*technological job resources*), efektif mengurangi perilaku berisiko cedera, memitigasi faktor penyebab kelelahan (*burnout*), dan meningkatkan persepsi dukungan organisasi serta kontrol atas pekerjaan di kalangan tenaga kesehatan. Keberhasilan implementasi sangat bergantung pada pendekatan strategis yang menyelaraskan teknologi dengan alur kerja klinis, melibatkan pengguna sejak awal, dan mengintegrasikannya ke dalam sistem kebijakan SDM yang koheren, 而非 sekadar sebagai alat insidental. Aplikasi praktis dari temuan ini menekankan perlunya pergeseran paradigma dalam investasi teknologi di fasilitas kesehatan, dari pembelian perangkat terisolasi menuju investasi dalam ekosistem digital yang berpusat pada manusia (*human-centric*) dan terhubung dengan fungsi SDM. Implikasinya, pemimpin institusi kesehatan perlu memprioritaskan solusi dengan keunggulan relatif dan kompatibilitas tinggi yang langsung menjawab kebutuhan operasional dan psikososial tenaga kerja. Untuk konteks seperti Indonesia, pendekatan bertahap dan modular yang diawali dengan solusi berbiaya lebih terjangkau namun berdampak luas seperti sistem penjadwalan cerdas atau platform kesejahteraan berbasis *mobile* dapat menjadi langkah awal yang strategis sebelum mengadopsi teknologi yang lebih kompleks. Spekulasi untuk masa depan menunjukkan bahwa institusi yang berhasil mencapai sinergi antara kepemimpinan visioner, budaya organisasi yang kolaboratif, dan infrastruktur digital yang andal akan menciptakan keunggulan kompetitif berkelanjutan melalui tenaga kesehatan yang lebih sehat, resilien, dan berkomitmen. Untuk memperdalam pemahaman, penelitian lanjutan sangat diperlukan untuk mengembangkan dan menguji model implementasi yang kontekstual di negara berkembang, mengevaluasi *return on investment* (ROI) jangka panjang dari integrasi ini, serta meneliti aspek etika dan kepemimpinan transformasional sebagai faktor kritis dalam keberhasilan transformasi digital di bidang SDM kesehatan.

Referensi

1. Bakker, A. B., & Demerouti, E. (2017). Job demands–resources theory: Taking stock and looking forward. *Journal of Occupational Health Psychology*, 22(3), 273–285. <https://doi.org/10.1037/ocp0000056>
2. Brough, P., & Biggs, A. (2015). Strategic human resource management for occupational health and safety: A scoping review. *Journal of Occupational Health Psychology*, 20(2), 129–143. <https://doi.org/10.1037/a0038444>
3. Carayon, P., Hundt, A. S., & Wiegmann, D. A. (2020). Using health information technology to improve the well-being of healthcare workers: A systematic review and roadmap for future research. *Applied Ergonomics*, 89, 103211. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2020.103211>
4. Dewa, C. S., Loong, D., Bonato, S., & Trojanowski, L. (2017). The relationship between physician burnout and quality of healthcare in terms of safety and acceptability: A systematic review. *BMJ Open*, 7(6), e015141.
5. Garcia, M. B., Revano, T. F., Habib, M., & Bandala, A. (2022). AI-Driven Occupational Health and Safety Risk Monitoring in Healthcare: A Review. *IEEE Access*, 10, 97104–97120.
6. Guedes, A., Alves, J., & Carvalho, M. (2022). Wearable sensors for occupational health and safety in healthcare: A systematic review. *Sensors*, 22(3), 1020. <https://doi.org/10.3390/s22031020>
7. Kementerian Kesehatan RI. (2020). *Laporan Nasional Riset Kesehatan Dasar (Riskesdas) 2018*. Jakarta: Badan Penelitian dan Pengembangan Kesehatan.
8. Lu, Y. (2017). Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues. *Journal of Industrial Information Integration*, 6, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2017.04.005>
9. Misra, S., Bhattacharya, S., & Khan, M. A. (2021). Occupational health hazards among healthcare workers in developing countries: A systematic review. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 27(4), 1084–1094. <https://doi.org/10.1080/10803548.2020.1861021>
10. Nahrgang, J. D., & Hofmann, D. A. (2020). Occupational health and safety 4.0: The role of digitalization in creating healthy, safe, and productive work systems. *Journal of Applied Psychology*, 105(12), 1389–1399. <https://doi.org/10.1037/apl0000847>
11. Prasetyo, A. (2022). Digital transformation readiness in Indonesian public hospitals: A qualitative study. *Journal of Health Management*, 24(1), 45–60.
12. Rogers, E. M. (2003). *Diffusion of innovations* (5th ed.). New York: Free Press.
13. Rokhman, N., & Ahmadi, A. (2023). Digital literacy and technology adoption barriers among healthcare professionals in Indonesia: An integrative review. *Health Informatics Journal*, 29(1), 1–15. <https://doi.org/10.1177/14604582221145678>
14. Shah, M. K., Gandrakota, N., & Shah, S. M. (2021). Prevalence of and factors associated with nurse burnout in the US. *JAMA Network Open*, 4(2), e2036469. <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2020.36469>
15. Sutrisno, A., & Handayani, P. W. (2023). Barriers to Digital Transformation in Indonesian Public Hospitals: An Institutional Theory Perspective. *Informatics for Health and Social Care*, 48(1), 1–17.
16. World Health Organization. (2020). *State of the world's nursing 2020: Investing in education, jobs and leadership*. Geneva: World Health Organization.
17. Wright, P. M., & McMahan, G. C. (1992). Theoretical perspectives for strategic human resource management. *Journal of Management*, 18(2), 295–320. <https://doi.org/10.1177/014920639201800205>
18. Zhou, J., Zhang, X., & Li, Y. (2021). Predictive analytics for preventing workplace injuries in healthcare using machine learning: A systematic review. *Safety Science*, 143, 105405. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2021.105405>