Jurnal Sanitasi Lingkungan ISSN 2828-7592
Vol.5, No.2, November 2025
https://doi.org/10.36086/jsl.v5i2.2952

PENERAPAN *INTERNET OF THINGS* PADA SISTEM KESEHATAN DAN KESELAMATAN KERJA INDUSTRI

APPLICATION OF INTERNET OF THINGS IN INDUSTRIAL OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY SYSTEMS

Aji Ahmad Wahidin[1]
[1]Universitas Singaperbangsa Karawang
(@siajiw19@gamil.com)

ABSTRAK

Transformasi digital dalam dunia industri mendorong pengembangan sistem kesehatan dan keselamatan kerja (K3) yang lebih adaptif dan berbasis data. Salah satu teknologi yang berkembang pesat adalah *Internet of Things* (IoT), yang memungkinkan pengumpulan dan analisis data secara real-time melalui sensor dan perangkat *wearable*. Kajian ini bertujuan untuk meninjau literatur ilmiah terkait penerapan IoT dalam sistem K3 pada industri manufaktur khususnya dalam mendeteksi potensi bahaya dan meningkatkan respons keselamatan kerja. Dengan menggunakan pendekatan tinjauan sistematis terhadap artikel *peer-reviewed* terbitan 2019–2024, kajian ini mengidentifikasi berbagai jenis teknologi IoT seperti sensor suhu, gas, dan biometrik, serta pemanfaatan *wearable devices* seperti helm pintar dan rompi pintar. Hasil kajian menunjukkan bahwa IoT berperan signifikan dalam meningkatkan pemantauan keselamatan kerja, mempercepat intervensi saat insiden, dan menurunkan tingkat kecelakaan kerja. Namun, adopsi sistem ini masih menghadapi tantangan dalam integrasi sistem, biaya implementasi, dan keamanan siber. Studi ini memberikan implikasi penting bagi pengembangan sistem K3 cerdas dalam era Industri 4.0.

Kata Kunci: IoT, manufaktura, Industri 4.0

ABSTRACT

The digital transformation of industry has accelerated the development of more adaptive and data-driven occupational health and safety (OHS) systems. Among the emerging technologies, the Internet of Things (IoT) stands out by enabling real-time data collection and analysis through sensors and wearable devices. This literature review aims to explore the scientific landscape surrounding the application of IoT in OHS systems within the manufacturing sector, focusing on hazard detection and enhanced safety response. Through a systematic review of peer-reviewed articles published between 2015 and 2024, this study identifies key IoT technologies such as temperature, gas, and biometric sensors, as well as smart wearables like smart helmets and vests. Findings suggest that IoT significantly improves safety monitoring, shortens response time during incidents, and reduces workplace accidents. Nonetheless, adoption barriers remain, including integration complexity, high initial cost, and cybersecurity risks. This review highlights critical insights for the advancement of smart OHS systems aligned with Industry 4.0 initiatives.

Keywords: *IoT, manufacturing, Industry 4.0,*

Jurnal Sanitasi Lingkungan
Vol.5, No.2, November 2025
https://doi.org/10.36086/jsl.v5i2.2952
ISSN 2828-7592

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi industri yang pesat dalam era Revolusi Industri 4.0 telah mempengaruhi hampir seluruh aspek operasional, termasuk sistem kesehatan dan keselamatan kerja (K3) [1]. Sistem K3 tradisional yang selama ini bergantung pada prosedur manual dan inspeksi berkala mulai mengalami transformasi menuju sistem yang lebih digital, otomatis, dan berbasis data real-time [2]. Di tengah peningkatan kompleksitas proses manufaktur, risiko kecelakaan kerja, paparan bahan berbahaya, serta kelelahan pekerja menjadi tantangan besar yang membutuhkan pendekatan keselamatan yang lebih adaptif [3,4]. *Internet of Things* (IoT) menawarkan solusi transformatif melalui integrasi sensor pintar dan wearable devices yang mampu mendeteksi potensi bahayaC secara langsung dan mengirimkan peringatan dini secara otomatis [5]. Inovasi seperti helm pintar, rompi pintar, dan pelacak biometrik memungkinkan pemantauan kondisi lingkungan dan fisiologis pekerja secara simultan, sehingga meningkatkan respons keselamatan secara prediktif dan mencegah terjadinya insiden fatal [6,7]. Penerapan IoT dalam sistem K3 industri manufaktur masih menghadapi sejumlah hambatan, mulai dari integrasi sistem lama, keterbatasan anggaran, hingga keraguan terhadap keandalan data sensor dan keamanan siber. Sebagian perusahaan manufaktur belum menerapkan teknologi secara optimal di negara berkembang, termasuk Indonesia, menerapkan sistem K3 berbasis IoT secara menyeluruh. Riset mengenai efektivitas dan kendala implementasi IoT dalam K3 juga masih terbatas, terutama yang bersifat empiris dan fokus pada sektor manufaktur. Hal ini menimbulkan kebutuhan untuk menelaah dan menyintesis literatur ilmiah terkini guna memberikan pemahaman yang lebih komprehensif mengenai praktik dan arah pengembangan sistem IoT-K3.

Dalam kajian ini, fokus diarahkan pada eksplorasi penerapan teknologi Internet of Things (IoT) dalam sistem kesehatan dan keselamatan kerja (K3) di sektor manufaktur. Kajian ini menelaah bagaimana teknologi IoT diintegrasikan dalam sistem K3, serta menganalisis dampak penggunaan sensor dan perangkat wearable terhadap peningkatan kemampuan deteksi dan kecepatan respons terhadap potensi insiden kerja. Selain itu, pembahasan juga mencakup identifikasi tantangan utama yang dihadapi serta arah pengembangan sistem K3 berbasis IoT dalam konteks industri manufaktur modern. Secara khusus, tujuan dari kajian literatur ini adalah: pertama, untuk menelaah berbagai pendekatan IoT yang telah digunakan dalam sistem K3, termasuk perangkat keras dan infrastruktur jaringan; kedua, untuk mengidentifikasi jenis sensor dan wearable devices yang paling dominan serta fungsinya dalam mendeteksi bahaya kerja; dan ketiga, untuk menyoroti dampak implementasi IoT terhadap efektivitas keselamatan kerja, seperti pengurangan insiden, peningkatan efisiensi monitoring, serta penguatan budaya K3 berbasis data. Melalui pendekatan ini, kajian ini diharapkan dapat memberikan landasan teoritis dan praktis bagi pengembangan sistem K3 cerdas di era digital.

METODE

Strategi Penelusuran

Kajian ini menggunakan pendekatan tinjauan sistematis terhadap publikasi ilmiah untuk mengevaluasi penerapan *Internet of Things* (IoT) dalam sistem kesehatan dan keselamatan kerja (K3) di sektor industri manufaktur. Penelusuran artikel dilakukan melalui beberapa basis data akademik bereputasi tinggi, yaitu Scopus, IEEE Xplore, ScienceDirect, dan SINTA untuk menjangkau literatur internasional maupun nasional yang relevan. Kata kunci yang digunakan dalam proses pencarian dikembangkan berdasarkan fokus tematik, yaitu: *"IoT for occupational safety"*, *"wearable K3 monitoring"*, *"smart sensors manufacturing"*, dan *"industry 4.0 HSE"*. Operator Boolean seperti AND/OR digunakan untuk mengkombinasikan kata kunci dan memperluas cakupan hasil penelusuran. Hasil awal pencarian menghasilkan lebih dari 100 publikasi, namun setelah diseleksi berdasarkan relevansi dan kualitas ilmiah, dipilih 10 artikel utama yang paling representatif dan sesuai dengan konteks sistem K3 di industri manufaktur. Strategi ini mengedepankan literatur

 ISSN 2828-7592

yang mendiskusikan secara langsung penggunaan sensor pintar, *wearable devices*, dan sistem komunikasi *real-time* yang berkaitan dengan keselamatan kerja.

Teknik Analisis

Analisis literatur dilakukan melalui koding tematik, yaitu teknik pengelompokan temuan berdasarkan kesamaan tema yang muncul dari masing-masing artikel. Tiga kategori utama digunakan sebagai kerangka koding: (1) jenis perangkat IoT (misalnya sensor gas, suhu, detak jantung, helm pintar); (2) fungsi sistem (misalnya deteksi dini, monitoring lokasi, sistem peringatan dini); dan (3) dampak terhadap sistem K3 (seperti pengurangan kecelakaan, peningkatan kecepatan respons, dan peningkatan kesadaran keselamatan). Teknik ini memungkinkan identifikasi pola umum serta variasi pendekatan antar studi. Selanjutnya dilakukan sintesis komparatif, yang membandingkan keefektifan pendekatan teknologi dari berbagai konteks industri dan negara. Pendekatan ini digunakan untuk menilai keberhasilan implementasi IoT-K3 serta mengidentifikasi celah penelitian yang masih terbuka untuk studi lebih lanjut.

HASIL

Penelitian ini dilandaskan pada hasil penelitian terdahulu yang relevan dengan topik yang dibahas. Referensi dari penelitian terdahulu tersebut dipergunakan sebagai bahan diskusi dan analisis data. Tabel berikut menyajikan ringkasan refrensi-refrensi tersebut.

Tabel 1. Referensi terdahulu

Penulis & Tahun	Judul	Jenis Perangkat IOT	Fungsi Sistem	Dampak terhadap K3
Varshini & Padmaja (2025)	Enviro-Alert Helmet: A Wearable Internet of Things Solution for Safety, Hazard Detection, and Rapid Response	Sensor jatuh + HNN	Deteksi insiden jatuh secara otomatis	Respons real-time & peringatan kecelakaan fisik
More et al. (2024)	Vital Vest: Smart Wearable for Monitoring Construction Worker Health in Harsh Environments	Smart vest	Pemantauan kesehatan pekerja konstruksi	Pencegahan kelelahan & kondisi kerja ekstrem
Tao et al. (2024)	Ergonomic Risk Assessment in Construction: Integrating Vision-based Postural Assessment and EMG-based Fatigue Analysis	Kamera + sensor EMG	Analisis postur dan kelelahan otot	Prediksi cedera akibat beban kerja berlebih
Devi et al. (2025)	MinerGenesis: Integrated Well-being and	Sensor + blockchain	Pemantauan lingkungan dan kesejahteraan	Integrasi data multisumber

 ISSN 2828-7592

	Environmental Surveillance for Mining Industry			untuk kontrol risiko kerja
Tukur & Parr (2024)	Resilient Sensing for Internet of Things (IoT) in Safety-Critical Applications	Sistem sensor resilien	Keandalan sensor di area berisiko tinggi	Deteksi aman untuk aplikasi keselamatan kritis
Huang et al. (2025)	Worker-Centric Construction Noise Management: A Systematic Review of Assessment, Monitoring, Modelling, and Control	Mikrofon + sensor kebisingan	Pemantauan polusi suara di lokasi kerja	Perlindungan terhadap gangguan pendengaran kronis
Chidurala et al. (2024)	Low-Resolution Infrared Imaging for Privacy-Aware Human Activity Monitoring in Assisted Living	Kamera inframerah low-res	Pemantauan aktivitas manusia (privasi-aware)	Deteksi gerakan untuk zona rawan tanpa mengorbankan privasi

PEMBAHASAN

Teknologi IoT yang digunakan dalam K3

Berdasarkan hasil tinjauan dari 10 artikel ilmiah, terlihat bahwa teknologi IoT dalam sistem K3 manufaktura tidak hanya terbatas pada satu jenis perangkat, tetapi merupakan kombinasi dari berbagai sensor lingkungan, sensor biometrik, perangkat wearable, serta sistem komunikasi nirkabel berdaya rendah. Studi menunjukkan penggunaan sensor karbon dioksida (CO_2) wearable untuk pemantauan kualitas udara dalam ruang kerja tertutup - suatu teknologi yang sangat relevan bagi pekerja yang berada di lingkungan dengan ventilasi terbatas [3]. Pemanfaatan LoRa (*Long Range communication*) untuk transmisi data real-time dari wearable ke sistem pusat juga ditemukan dalam studi yang menyoroti pentingnya pengumpulan data tanda vital pekerja di titik masuk industri [3].

Perangkat seperti helm pintar dengan sensor lingkungan terintegrasi menjadi solusi penting untuk deteksi paparan suhu dan gas berbahaya, memungkinkan aktivasi peringatan atau intervensi otomatis [4]. Selain itu, sensor jatuh berbasis *Hybrid Neural Networks* (HNN) yang dikembangkan menambah dimensi kecerdasan pada sistem IoT, karena mampu mendeteksi pola gerakan abnormal dan mengirimkan sinyal darurat, dalam hal pemantauan kelelahan telah dikembangkan rompi pintar (*smart vest*) yang mampu mengukur kondisi fisik pekerja di area konstruksi berat [7,8] . Studi menyatukan kamera vision-based dan sensor EMG (*electromyography*) untuk menilai postur kerja dan kelelahan otot, membuka jalan bagi sistem prediksi cedera ergonomis [9]. Teknologi-teknologi ini menandai pergeseran sistem K3 dari statis menjadi dinamis, berbasis sensor, dan responsif secara real-time.

Dampak Implementasi terhadap Efektivitas K3

Implementasi sistem IoT untuk K3 menunjukkan pengaruh nyata terhadap peningkatan keselamatan kerja di lapangan. Salah

 ISSN 2828-7592

satu kontribusi utama adalah dalam penurunan insiden kerja yang berkaitan dengan kelelahan, paparan gas, atau kegagalan mendeteksi kondisi darurat. Dalam studi wearable CO_2 sensor berhasil mendeteksi peningkatan kadar gas berbahaya secara real-time, memungkinkan pekerja segera keluar dari area terpapar. Sementara sistem monitoring tanda vital menggunakan teknologi LoRa mendeteksi gejala awal kelelahan atau gangguan pernapasan, sehingga memungkinkan intervensi lebih cepat [3]. Peningkatan kecepatan respons terhadap kecelakaan menjadi nilai tambah utama sistem berbasis IoT. Sistem peringatan otomatis menjadikan pekerja tidak lagi harus menunggu pengawasan manusia untuk menerima bantuan. Sistem mendeteksi insiden (seperti jatuh atau paparan suhu ekstrem) secara instan dan mengirimkan sinyal ke pusat komando atau tim medis [4,7]. Lebih lanjut, pemantauan kelelahan otot dan postur kerja berbasis sensor EMG dan vision AI memberikan kemampuan baru dalam mencegah cedera ergonomis — jenis kecelakaan kerja yang paling sering terjadi di manufaktur [9]. Pemrograman IoT tidak hanya mendeteksi bahaya, tetapi juga mengelola potensi risiko secara preventif dan berkelanjutan.

Studi Kasus: Aplikasi di Industri Manufaktur

Penerapan IoT untuk K3 dalam konteks industri manufaktur telah diuji di berbagai skenario nyata, mulai dari tambang, pabrik kimia, konstruksi, hingga lingkungan industri berat. Salah satu contoh paling mencolok adalah sistem MinerGenesis yang dikembangkan ini menggabungkan sensor *wearable* dan pemantauan lingkungan berbasis *blockchain*, yang tidak hanya meningkatkan transparansi data tetapi juga memastikan keutuhan informasi keselamatan yang tidak dapat dimanipulasi [10].

Di industri konstruksi yang sering mengalami kecelakaan akibat kelelahan dan lingkungan kerja ekstrem membuktikan bahwa smart vest secara signifikan membantu mendeteksi kelelahan fisik dan risiko kesehatan dalam suhu tinggi [8]. Penerapan aspek *postural ergonomis*, memanfaatkan kamera vision dan EMG untuk menilai potensi cidera dari gerakan repetitif, sementara itu, pada konteks privasi di ruang kerja seperti perakitan elektronik atau pengawasan gerak di area sensitif, menawarkan pendekatan kamera inframerah resolusi rendah yang mampu mendeteksi pergerakan manusia tanpa mengorbankan privasi [11]. Studi ini membuka perspektif baru tentang pengawasan non-invasif yang tetap efektif dan etis. Penguatan argumen bahwa pemantauan suara kerja dengan sensor kebisingan memberikan dampak positif terhadap perlindungan jangka panjang terhadap gangguan pendengaran pekerja [12]. Keseluruhan studi kasus ini menunjukkan bahwa sistem IoT-K3 dapat disesuaikan untuk kebutuhan sektoral dan lingkungan kerja spesifik, bukan solusi satu ukuran untuk semua.

Kelebihan dan Keterbatasan Sistem IoT-K3

Sistem IoT untuk K3 menawarkan berbagai keunggulan yang secara langsung meningkatkan efektivitas pengelolaan keselamatan kerja [13]. Pertama, sistem ini memungkinkan monitoring otomatis dan real-time terhadap berbagai variabel lingkungan dan biometrik, yang sebelumnya memerlukan pengawasan manual atau alat ukur statis [14]. Kedua, sistem IoT bersifat skalabel dan modular, memungkinkan integrasi dengan infrastruktur digital lain seperti ERP, dashboard SCADA hingga sistem pelaporan cloud. Ketiga, sistem ini mendukung pendekatan prediktif yang memungkinkan antisipasi risiko sebelum insiden terjadi, namun, dari sisi implementasi, tantangan tetap ada. Salah satu hambatan utama adalah tingginya biaya awal untuk perangkat wearable, sensor ndustri, dan infrastruktur jaringan yang stabil [3]. Selain kompleksitas integrasi sistem lama dengan solusi baru menimbulkan kebutuhan rekayasa ulang (*retrofitting*) yang tidak semua perusahaan siap lakukan. Tantangan lain mencakup resisnsi budaya organisasi, di mana pekerja enggan memakai perangkat sensorik secara terus-merus karena alasan kenyamanan atau privasi [11]. Isu keamanan data pada sistem IoT mentransmisikan data biometrik dan lingkungan secara terus-menerus, potensi serangan siber dan kebocoran data menjadi risiko nyata, terlebih jika sistem tidak dilindungi oleh enkripsi yang memadai atau sistem autentikasi ganda [15]. Oleh karena itu pengembangan sistem IoT-K3 harus diimbangi dengan kebijakan keamanan data,

 ISSN 2828-7592

pelatihan penggunaan teknologi, dan evaluasi berkelanjutan terhadap efektivitas sistem.

IMPLIKASI TEORITIS DAN PRAKTIS

Implikasi bagi Teori K3 dan Teknologi Industri 4.0

Hasil kajian menunjukkan bahwa adopsi IoT dalam sistem K3 bukan hanya sebuah fenomena teknologi, tetapi juga memperluas cakupan teoretis dalam ranah keselamatan kerja modern. Secara teoritis, penerapan perangkat wearable dan sistem sensor real-time menantang paradigma tradisional K3 yang berorientasi reaktif dan administratif. Temuan ini mendukung pendekatan proaktif dan prediktif dalam manajemen risiko, sebagaimana dikembangkan dalam kerangka safety 4.0, yang merupakan sintesis antara keselamatan kerja dan transformasi digital [9,10]. Lebih lanjut, peran machine learning dan sistem komunikasi *low-power wide area* (LPWAN) seperti LoRa membuka kontribusi baru terhadap teori tentang adaptabilitas sistem keselamatan berbasis data besar. IoT menggeser model safety compliance menjadi safety intelligence, di mana data bukan hanya dicatat, tetapi diproses secara kontekstual untuk pengambilan keputusan yang lebih cepat dan akurat [6]. Oleh karena itu, sistem K3 berbasis IoT dapat dipandang sebagai representasi ekosistem cyber-fisik dalam kerangka industri 4.0, dan menjadi kontribusi penting dalam penguatan kerangka teoritis sistem adaptif dan tanggap terhadap risiko dinamis di tempat kerja. Selain itu studi yang memperluas pemikiran teoritis tentang pengawasan berbasis privasi dengan pemantauan menggunakan teknologi *low-resolution infrared imaging* bukan hanya menjawab kebutuhan deteksi gerakan tetapi juga menyajikan kompromi penting antara keselamatan dan hak privasi pekerja [11]. K3 dan teori pengawasan kerja perlu berkembang ke arah etika teknologi dan *trust-aware monitoring*.

Implikasi bagi Manajemen Industri Manufaktur dan Sistem K3 Praktis.

Dari sisi praktis, hasil sintesis literatur memberikan beberapa implikasi nyata bagi pengambil keputusan di sektor manufaktur dan pengelola sistem K3. Pertama, integrasi sistem sensor dan perangkat wearable memungkinkan perusahaan untuk melakukan pengawasan aktif terhadap keselamatan kerja tanpa ketergantungan eksklusif pada inspeksi manual. Hal ini membuka ruang bagi pengembangan sistem manajemen keselamatan berbasis data (data-driven HSE management), di mana keputusan operasional dapat disesuaikan secara cepat berdasarkan kondisi aktual di lapangan. Kedua, sistem ini memungkinkan manajemen untuk merespons krisis atau situasi abnormal secara lebih efektif. Helm pintar dan sensor jatuh, sebagaimana dikaji mampu mengirim sinyal bahaya secara otomatis tanpa intervensi manusia, mengurangi waktu tanggap darurat dan meningkatkan tingkat penyelamatan [4,7]. Smart vest yang dikembangkan oleh juga berperan dalam mengurangi risiko *heatstroke*, terutama di lingkungan kerja bersuhu tinggi [8]. Ketiga, sistem IoT-K3 memungkinkan manajemen untuk mengembangkan strategi keselamatan individual berbasis profil risiko pekerja, misalnya dengan mengintegrasikan hasil pengukuran postur dan fatigue ke dalam sistem ERP untuk manajemen shift kerja [9]. Implikasi ini akan sangat bermanfaat dalam konteks manajemen tenaga kerja multishift dan industri padat karya. Namun, manajemen juga harus menyadari tantangan implementasi. Diperlukan strategi mitigasi atas biaya awal, keterbatasan konektivitas, dan potensi serangan siber. Selain itu, pelatihan penggunaan alat wearable, serta penerapan kebijakan perlindungan data pekerja menjadi hal yang tidak dapat ditawar. Penerapan sistem IoT-K3 harus dipandang bukan hanya sebagai investasi teknologi, tetapi sebagai bagian dari transformasi budaya keselamatan kerja secara menyeluruh, di mana teknologi, kebijakan, dan perilaku terintegrasi dalam satu sistem nilai yang sama.

KESIMPULAN DAN SARAN

Tinjauan literatur ini menunjukkan bahwa penerapan teknologi Internet of Things (IoT) dalam sistem kesehatan dan keselamatan kerja (K3) di industri manufaktur telah mengalami perkembangan signifikan dalam lima tahun terakhir. Studi-studi mutakhir menggarisbawahi bahwa integrasi sensor biometrik, sensor lingkungan, dan perangkat wearable memberikan

 ISSN 2828-7592

kemampuan baru dalam mendeteksi bahaya secara real-time, mempercepat respons terhadap insiden, dan memprediksi potensi risiko kerja berbasis data historis dan kondisi aktual pekerja. Perangkat seperti helm pintar, smart vest, dan sistem monitoring LoRa telah terbukti mampu menurunkan risiko kecelakaan kerja melalui peringatan dini dan deteksi otomatis, terutama dalam lingkungan kerja ekstrem seperti tambang, konstruksi, dan pabrik berbasis panas atau bahan kimia. Selain peningkatan efektivitas monitoring, sistem ini juga membuka peluang pengelolaan keselamatan kerja yang lebih personal dan berbasis profil risiko, menjadikan pendekatan K3 lebih cerdas, prediktif, dan adaptif. Sejumlah tantangan teknis dan struktural masih menjadi hambatan implementasi, mulai dari biaya awal, kebutuhan integrasi sistem lama, hingga kekhawatiran tentang keamanan siber dan privasi pekerja. Oleh karena itu, pengembangan sistem K3 berbasis IoT tidak hanya memerlukan kesiapan teknologi, tetapi juga dukungan kebijakan organisasi dan adaptasi budaya kerja yang berorientasi pada keselamatan digital.

Rekomendasi Penelitian Lanjutan

Meskipun penerapan Internet of Things (IoT) dalam sistem kesehatan dan keselamatan kerja (K3) di industri manufaktur menunjukkan potensi besar dalam meningkatkan efektivitas monitoring dan respons terhadap risiko, masih terdapat sejumlah celah yang relevan untuk dijadikan fokus penelitian lanjutan. Salah satu rekomendasi utama adalah perlunya studi empiris berbasis pendekatan mixed-method yang menggabungkan data kuantitatif dari sensor wearable dengan wawancara atau observasi lapangan. Pendekatan ini penting untuk memahami secara holistik bagaimana teknologi memengaruhi persepsi dan perilaku keselamatan pekerja. Selain itu, direkomendasikan dilakukannya penelitian longitudinal untuk mengamati dinamika penerimaan dan efektivitas sistem IoT-K3 dalam jangka waktu yang lebih panjang, terutama dalam konteks perubahan budaya organisasi dan rutinitas kerja. Penelitian selanjutnya juga dapat memperluas fokus ke arah psikologi kerja dan human factors, termasuk bagaimana persepsi terhadap pemantauan digital mempengaruhi rasa aman, stres kerja, dan motivasi kepatuhan terhadap SOP keselamatan. Selain itu, penting untuk mengeksplorasi model integrasi IoT dengan sistem informasi perusahaan, seperti ERP atau SCADA, guna membangun ekosistem keselamatan digital yang saling terhubung dan efisien. Dalam konteks yang lebih luas, kajian etis dan hukum mengenai pengumpulan dan penggunaan data biometrik dari perangkat wearable juga sangat diperlukan. Aspek ini mencakup isu privasi, persetujuan penggunaan data, serta keseimbangan antara pengawasan dan pemberdayaan pekerja. Dengan demikian, penelitian masa depan perlu menggabungkan pendekatan teknis dan sosial secara seimbang untuk memastikan bahwa penerapan IoT dalam K3 tidak hanya canggih secara teknologi, tetapi juga inklusif dan berorientasi manusia.

DAFTAR PUSTAKA

1. Hasanah, P. U. *et al.* Tantangan keselamatan dan kesehatan kerja di masa depan di negara industri: Studi literatur. *Jurnal Ilmiah Permas: Jurnal Ilmiah STIKES Kendal* **14**, 645–662 (2023).
2. Khodaei, M. J., Candelino, N., Mehrvarz, A. & Jalili, N. Physiological closed-loop control (PCLC) systems: Review of a modern frontier in automation. *IEEE Access* **8**, 23965–24005 (2020).
3. Melo, B. O., Barbosa, C. R. H., Rios, J. L. R., Nunes, J. R. & Louzada, D. R. Initial tests of a wearable carbon dioxide transducer for air quality analysis in indoor environments from the perspective of occupational safety. *Sensors and Actuators Reports* **8**, 100189 (2025).
4. Vinay, R., Reddy, R. T. & Brunda, V. Enviro-alert helmet: A wearable Internet of Things solution for safety, hazard detection, and rapid response. *IEEE Conference on IoT and Smart Systems* (2025).
5. Wibowo. Internet of Things (IoT) dalam ekonomi dan bisnis digital. *Yayasan Prima Agus Teknik* **9**, 1–94 (2020).
6. Kaur, N., Malik, P. K., Krishna, G. & Kumar, M. An IoT-driven workers health

 ISSN 2828-7592

monitoring system utilizing LoRa technology for real-time vital signs collection. in *IEEE Conference on Intelligent Control and Computation* (2025).
7. Varshini, S. R., Padmaja, R. & Gnanasoundharam, J. Real-Time Monitoring and Human Fall Detection using Hybrid Neural Networks (HNN). in *2025 International Conference on Electronics and Renewable Systems (ICEARS)* 1700–1705 (IEEE, 2025).
8. More, K., Mane, K., Mane, M. & Mane, R. Vital Vest: Smart wearable for monitoring construction worker health in harsh environments. in *IEEE International Conference on Automation and Computing* (2024).
9. Tao, Y., Hu, H., Xu, F., Zhang, Z. & Wang, R. Ergonomic risk assessment in construction: Integrating vision-based postural assessment and EMG-based fatigue analysis. in *IEEE International Conference on Automation* (2025).
10. Devi, B. P., Abeesh, R. & Dhilipkumar, M. MinerGenesis: Integrated well-being and environmental surveillance for mining industry. in *IEEE 14th India Council Conference* (2025).
11. Chidurala, V., Viswavarapu, L. K. & Dang, H. Low-resolution infrared imaging for privacy-aware human activity monitoring in assisted living. in *IEEE Conference on IoT and Human-Centered Computing. IEEE* (2024).
12. Huang, X., Luo, H., Kang, J. & Liu, J. Worker-centric construction noise management: A systematic review of assessment, monitoring, modelling, and control. *Building and Environment* **255**, 111589 (2025).
13. Husna, A. T., Suluhniate, M., Harahap, M. & Hasibuan, A. Model integrasi K3 dan manajemen risiko untuk meningkatkan daya saing organisasi. *Jurnal Penelitian Multidisiplin Ilmu* **4**, 3055–3066 (2025).
14. Persiani, S. G. L., Kobas, B., Koth, S. C. & Auer, T. Biometric data as real-time measure of physiological reactions to environmental stimuli in the built environment. *Energies* **14**, 232 (2021).
15. Tukur, Y. M. & Parr, G. Resilient sensing for Internet of Things (IoT) in safety-critical applications. in *IEEE International Conference on Computer Systems and Technologies* (2024).