

PENERAPAN ARTIFICIAL INTELLIGENCE DAN BIG DATA UNTUK OPTIMASI ERGONOMI DAN KESEHATAN DAN KESELAMATAN KERJA (K3) DI LINGKUNGAN MANUFAKTUR: *SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW*

Putri Diah Purnama¹, Windi Anasasmita², Agung Suprayitno³, Rido Anggriawan⁴,
Agus Setiyo Budi⁵, Ali Muhammad^{6*}

¹²³⁴⁵Prodi Teknik Industri, Universitas Sains Indonesia, Bekasi

^{*6}Prodi Teknik Informatika, Universitas Sains Indonesia, Bekasi

Email : 2521100168@students.sains.ac.id¹, 2521100136@students.sains.ac.id², 2521100008@students.sains.ac.id³,
2521100117@students.sains.ac.id⁴, 2521100009@students.sains.ac.id⁵, ali.muhammad@lecturer.sains.ac.id^{6*}

ABSTRAK

Perkembangan Industry 4.0 dan transisi menuju Industry 5.0 mendorong pemanfaatan Artificial Intelligence (AI) dan Big Data sebagai teknologi utama untuk meningkatkan ergonomi serta Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) di sektor manufaktur. Meskipun publikasi mengenai AI, Big Data, ergonomi, dan K3 terus meningkat, kajian yang mengintegrasikan seluruh aspek tersebut dalam satu sintesis sistematis masih terbatas. Kesenjangan penelitian ini menyebabkan belum tersedianya pemetaan yang komprehensif mengenai perkembangan metodologi, manfaat implementasi, tantangan, dan arah pengembangan teknologi pada lingkungan manufaktur. Penelitian ini bertujuan menyintesis bukti ilmiah terkait penerapan AI dan Big Data dalam optimasi ergonomi dan K3 serta mengidentifikasi peluang penelitian di masa mendatang. Penelitian menggunakan metode Systematic Literature Review (SLR) dengan mengacu pada pedoman Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA). Proses kajian meliputi tahap identifikasi, penyaringan, penilaian kelayakan, dan sintesis terhadap 75 artikel ilmiah periode 2019–2026 yang dianalisis menggunakan kerangka PICOC dan empat Research Questions (RQ). Hasil sintesis menunjukkan pergeseran paradigma dari metode konvensional, seperti RULA, REBA, OWAS, HIRARC, JSA, dan HAZOP, menuju pendekatan berbasis AI dan Big Data yang mampu melakukan deteksi dini risiko ergonomi, pemantauan K3 secara real-time, prediksi kecelakaan kerja, serta optimalisasi kolaborasi manusia–robot melalui wearable sensors, computer vision, dan Digital Human Modeling (DHM). Kontribusi ilmiah penelitian ini terletak pada penyajian kerangka sintesis yang mengintegrasikan evolusi metodologi, transformasi digital ergonomi dan K3, serta tantangan implementasi menuju human-centric Industry 5.0. Temuan ini diharapkan menjadi landasan konseptual bagi pengembangan penelitian dan implementasi sistem K3 berbasis data di industri manufaktur.

Kata Kunci: Artificial Intelligence, Big Data, Ergonomi, Keselamatan dan Kesehatan Kerja, Industry 5.0, Systematic Literature Review.

ABSTRACT

The advancement of Industry 4.0 technologies and the paradigm shift toward Industry 5.0 has accelerated the adoption of Artificial Intelligence (AI) and Big Data as key technologies for enhancing ergonomics and Occupational Health and Safety (OHS) in manufacturing environments. Although the number of studies on AI, Big Data, ergonomics, and OHS has increased substantially, comprehensive evidence integrating these domains

into a systematic synthesis remains limited. This research gap hinders a holistic understanding of methodological developments, implementation benefits, technological challenges, and future research directions.

Therefore, this study aims to synthesize the existing scientific evidence on the application of AI and Big Data for optimizing ergonomics and OHS while identifying emerging research opportunities. A Systematic Literature Review (SLR) was conducted following the Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) guidelines. The review comprised the stages of identification, screening, eligibility assessment, and synthesis of 75 peer-reviewed articles published between 2019 and 2026, using the PICOC framework and four Research Questions (RQs) to guide the analysis. The findings reveal a significant paradigm shift from conventional ergonomics and OHS assessment methods, including RULA, REBA, OWAS, HIRARC, Job Safety Analysis (JSA), and HAZOP, toward AI- and Big Data-driven approaches capable of real-time risk monitoring, early detection of musculoskeletal disorders (MSDs), accident prediction, and human–robot collaboration through wearable sensors, computer vision, and Digital Human Modeling (DHM). The primary scientific contribution of this review lies in providing an integrated conceptual framework that maps the evolution of ergonomics and OHS methodologies, highlights the role of digital transformation, and identifies key implementation challenges in supporting a human-centered Industry 5.0. These findings provide a valuable theoretical foundation for future research and the development of data-driven OHS systems in manufacturing industries.

Keywords: Artificial Intelligence; Big Data; Ergonomics; Occupational Health and Safety; Industry 5.0; Systematic Literature Review.

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan revolusi industri 4.0 dan transisi menuju Industri 5.0 telah mendorong transformasi signifikan dalam sistem manufaktur melalui integrasi teknologi digital, otomatisasi, Internet of Things (IoT), Artificial Intelligence (AI), dan Big Data Analytics. Transformasi tersebut tidak hanya berfokus pada peningkatan produktivitas dan efisiensi operasional, tetapi juga memberikan peluang besar dalam meningkatkan aspek ergonomi serta keselamatan dan kesehatan kerja (K3) di lingkungan manufaktur [8], [47]. Dalam konteks industri modern, faktor manusia tetap menjadi elemen utama yang menentukan keberhasilan sistem produksi sehingga perlindungan terhadap pekerja menjadi perhatian yang semakin penting.

Permasalahan ergonomi dan K3 masih menjadi tantangan utama di sektor manufaktur. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa pekerja manufaktur rentan mengalami gangguan musculoskeletal

disorders (MSDs), kelelahan kerja, cedera akibat postur kerja yang tidak ergonomis, serta kecelakaan kerja yang disebabkan oleh interaksi manusia dengan mesin dan lingkungan kerja yang berisiko [33], [34]. Penelitian Ahmad Afandy dan Nurhidayat [3], Bakhtiar et al. [13], serta Suhendar et al. [67] menunjukkan bahwa aktivitas manual material handling dan postur kerja yang tidak sesuai merupakan penyebab utama munculnya keluhan MSDs pada pekerja industri. Selain itu, berbagai studi mengenai penerapan metode HIRARC, HAZOP, dan Job Safety Analysis menunjukkan bahwa risiko kecelakaan kerja masih banyak ditemukan pada proses manufaktur dan industri pengolahan [9], [12], [14], [29].

Seiring berkembangnya teknologi digital, Artificial Intelligence dan Big Data mulai dimanfaatkan untuk mendukung pengambilan keputusan yang lebih cepat, akurat, dan prediktif dalam pengelolaan ergonomi serta K3. Big Data memungkinkan pengumpulan, penyimpanan, dan analisis data dalam jumlah besar yang berasal dari

sensor, perangkat wearable, sistem informasi produksi, serta catatan keselamatan kerja [19], [58]. Sementara itu, AI mampu mengolah data tersebut untuk mengidentifikasi pola risiko, memprediksi kecelakaan kerja, melakukan penilaian ergonomi secara otomatis, dan memberikan rekomendasi tindakan preventif secara real-time [23], [70].

Beberapa penelitian telah menunjukkan efektivitas teknologi AI dalam bidang ergonomi dan K3. Cerqueira et al. [18] mengembangkan smart vest berbasis sensor untuk memberikan umpan balik postur tubuh secara realtime. Mudiyanse et al. [45] memanfaatkan wearable sensor dan machine learning untuk melakukan penilaian risiko ergonomi pekerja secara otomatis pada aktivitas manual material handling. Selain itu, perkembangan kolaborasi manusia-robot yang didukung AI memungkinkan terciptanya lingkungan kerja yang lebih aman dan ergonomis melalui pemantauan kondisi pekerja secara berkelanjutan [30], [41], [66].

Meskipun penelitian mengenai AI, Big Data, ergonomi, dan K3 berkembang pesat, kajian yang secara khusus mengintegrasikan ketiga aspek tersebut dalam konteks manufaktur masih relatif terbatas dan tersebar pada berbagai disiplin ilmu. Sebagian besar penelitian berfokus pada pengembangan teknologi, sementara pemetaan mengenai tren penelitian, metode yang digunakan, manfaat yang diperoleh, serta tantangan implementasinya belum banyak dilakukan secara sistematis. Oleh karena itu, diperlukan suatu Systematic Literature Review (SLR) untuk mengidentifikasi, mengevaluasi, dan mensintesis hasil-hasil penelitian terkait penerapan Artificial Intelligence dan Big Data dalam optimasi ergonomi dan K3 di lingkungan manufaktur.

Melalui kajian sistematis ini diharapkan dapat diperoleh gambaran komprehensif mengenai perkembangan penelitian, teknologi yang digunakan, manfaat implementasi, serta peluang pengembangan riset di masa mendatang sehingga dapat menjadi referensi bagi akademisi, praktisi industri, maupun pengambil kebijakan dalam mewujudkan lingkungan

kerja manufaktur yang lebih aman, sehat, dan berkelanjutan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang serta pemetaan kerangka kerja PICOC (Population, Intervention, Comparison, Outcome, Context), rumusan masalah dalam penelitian Systematic Literature Review (SLR) ini dirumuskan ke dalam 4 Research Questions (RQ) utama sebagai berikut:

- **RQ 1:** Bagaimana pemetaan tren publikasi dan evolusi metodologi riset Ergonomi dan K3 dari metode observasional konvensional hingga integrasi AI dan Big Data di lingkungan manufaktur?
- **RQ 2:** Bagaimana kecanggihan teknologi AI mentransformasi dan meningkatkan presisi metode penilaian risiko ergonomi?
- **RQ 3:** Bagaimana peranan Big Data Analytics dan arsitektur analitik modern memperkuat metode identifikasi bahaya serta manajemen risiko secara prediktif dan real-time?
- **RQ 4:** Apa saja tantangan teknis, etis, dan implementatif serta arah riset masa depan dalam penerapan AI dan Big Data untuk mewujudkan keselamatan kerja yang berorientasi pada manusia?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan pelaksanaan Systematic Literature Review ini diselaraskan secara langsung dengan rumusan masalah di atas, yaitu:

1. Menganalisis dan memetakan tren publikasi serta evolusi metodologis dalam penelitian Ergonomi dan K3 dari paradigma observasional konvensional menuju paradigma berbasis AI dan Big Data Analytics.
2. Mengevaluasi peran dan kecanggihan teknologi AI, sensor cerdas (sEMG, Smart Vest) dan Computer Vision dalam mentransformasi akurasi serta efektivitas penilaian risiko ergonomi fisik pekerja.

3. Mengkaji kontribusi Big Data Analytics dan arsitektur data terintegrasi dalam memperkuat metode manajemen resiko K3 tradisional menjadi sistem manajemen keselamatan kerja yang bersifat prediktif dan real time.
4. Mengidentifikasi tantangan teknis, isu etika/privasi, serta merumuskan arah pengembangan riset masa depan untuk mendukung transisi menuju ekosistem industri yang berpusat pada manusia (HumanCentric Industry 5.0).

1.4 Keutamaan dan Kebaruan Penelitian

Keutamaan penelitian ini terletak pada pendekatan integratif yang menggabungkan tiga bidang utama, yaitu Artificial Intelligence, Big Data Analytics, dan ergonomi K3 dalam konteks manufaktur modern dan transisi Industri 5.0. Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang umumnya membahas aspek ergonomi, keselamatan kerja, atau teknologi digital secara terpisah, penelitian ini menyajikan sintesis literatur yang komprehensif mengenai keterkaitan ketiga aspek tersebut. Kebaruan (novelty) dari penelitian ini meliputi:

1. **Penyelarasan Metodologis Berbasis PICOC**
Mengaitkan secara ketat kerangka kerja PICOC dengan 4 Research Questions (RQ) untuk mengevaluasi komparasi antara metode konvensional (baseline) dengan teknologi prediktif berbasis AI dan Big Data.
2. **Sintesis Transformasi Multidisplin**
Memetakan secara sistematis bagaimana algoritma Machine Learning, wearable sensors, Digital Human Modeling (DHM), dan Human-Robot Collaboration (HRC) mengubah penilaian risiko ergonomi dari snapshot periodik/subjektif menjadi kontinu, presisi, dan real-time.
3. **Penyusunan Kerangka Kerja Sosio-Teknis Masa Depan**

Menyajikan analisis mendalam mengenai tantangan implementasi (kompleksitas infrastruktur, privasi data pekerja, technostress) serta merekomendasikan kerangka kerja sosio-teknis (seperti model HARVEST-5) untuk mendukung Industry 5.0 yang human-centric, resilient, dan berkelanjutan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Ergonomi dalam Lingkungan Manufaktur

Ergonomi merupakan ilmu yang mempelajari interaksi antara manusia dengan elemen-elemen dalam suatu sistem kerja dengan tujuan mengoptimalkan kesejahteraan manusia dan kinerja sistem. Dalam lingkungan manufaktur, ergonomi berperan penting dalam menciptakan kondisi kerja yang aman, nyaman, efektif, dan produktif melalui penyesuaian pekerjaan, peralatan, serta lingkungan kerja terhadap kemampuan dan keterbatasan pekerja.

Permasalahan ergonomi masih menjadi isu dominan pada sektor manufaktur karena banyak aktivitas produksi melibatkan gerakan berulang, pengangkatan beban, postur kerja statis, serta interaksi manusia-mesin yang kompleks. Hulshof et al. [33] menjelaskan bahwa paparan faktor risiko ergonomi seperti postur kerja tidak alamiah, aktivitas repetitif, dan penggunaan tenaga berlebih berkontribusi signifikan terhadap munculnya gangguan muskuloskeletal (Musculoskeletal Disorders/MSDs). Temuan tersebut diperkuat oleh berbagai penelitian di Indonesia yang menunjukkan tingginya tingkat risiko ergonomi pada aktivitas manual material handling dan proses produksi manufaktur [3], [13], [67].

Evaluasi ergonomi secara konvensional umumnya menggunakan metode observasional seperti Rapid Upper Limb Assessment (RULA), Rapid Entire Body Assessment (REBA), Ovako Working Posture Analysis System (OWAS), Quick Exposure Check (QEC), dan Nordic Body Map.

Metode-metode tersebut telah banyak digunakan dalam mengidentifikasi risiko ergonomi pada berbagai sektor industri [4], [5], [11]. Namun, pendekatan konvensional memiliki keterbatasan karena bersifat periodik, membutuhkan pengamatan langsung, dan belum mampu memberikan pemantauan secara real-time.

Perkembangan teknologi digital kemudian mendorong lahirnya konsep ergonomi cerdas, yaitu penerapan teknologi sensor, wearable devices, digital human modeling, dan kecerdasan buatan untuk melakukan pemantauan kondisi pekerja secara berkelanjutan. Studi Cerqueira et al. [18] menunjukkan bahwa penggunaan smart vest mampu melakukan penilaian postur kerja secara real-time dan memberikan umpan balik langsung kepada pekerja. Sementara itu, Abryandoko et al. [2] menunjukkan bahwa Digital Human Modeling dapat digunakan untuk mengevaluasi dan merancang stasiun kerja yang lebih ergonomis. Dengan demikian, perkembangan ergonomi modern telah bergeser dari pendekatan reaktif menuju pendekatan prediktif dan preventif yang memanfaatkan data serta teknologi digital untuk mengurangi risiko cedera kerja.

2.2 Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) dalam Industri Manufaktur

Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) merupakan upaya sistematis untuk melindungi pekerja dari risiko kecelakaan kerja, penyakit akibat kerja, dan gangguan kesehatan yang timbul selama proses kerja. Dalam sektor manufaktur, penerapan K3 menjadi sangat penting karena tingginya tingkat interaksi antara manusia, mesin, material, dan lingkungan kerja yang berpotensi menimbulkan bahaya.

Pendekatan K3 modern tidak hanya berfokus pada pengendalian kecelakaan kerja tetapi juga mencakup identifikasi bahaya, penilaian risiko, mitigasi, serta peningkatan budaya keselamatan. Berbagai metode seperti Hazard Identification Risk Assessment and Risk Control (HIRARC), Hazard Identification Risk Assessment and Determining

Control (HIRADC), Hazard and Operability Study (HAZOP), Failure Tree Analysis (FTA), dan Job Safety Analysis (JSA) telah banyak digunakan untuk mengidentifikasi serta mengendalikan risiko kerja [12], [17], [29], [31].

Menurut Benson et al. [15], efektivitas program keselamatan kerja sangat dipengaruhi oleh kemampuan organisasi dalam mengidentifikasi faktor risiko secara dini dan menerapkan tindakan pengendalian yang tepat. Namun demikian, sistem K3 konvensional sering menghadapi keterbatasan karena bergantung pada inspeksi manual, pelaporan insiden, dan evaluasi berkala yang tidak selalu mampu mendeteksi risiko secara cepat.

Dalam era transformasi digital, konsep Occupational Safety 4.0 mulai berkembang dengan mengintegrasikan teknologi Industry 4.0 ke dalam sistem keselamatan kerja. Teknologi seperti sensor IoT, sistem monitoring realtime, wearable devices, machine vision, dan Artificial Intelligence memungkinkan deteksi bahaya secara otomatis serta prediksi potensi kecelakaan sebelum terjadi. Pendekatan ini mengubah paradigma K3 dari reactive safety management menjadi predictive safety management yang lebih efektif dalam mencegah kecelakaan kerja.

2.3 Artificial Intelligence (AI)

Artificial Intelligence (AI) merupakan cabang ilmu komputer yang berfokus pada pengembangan sistem yang mampu meniru kemampuan kognitif manusia seperti belajar, berpikir, mengenali pola, mengambil keputusan, dan menyelesaikan masalah secara otomatis. Dalam konteks industri manufaktur, AI menjadi teknologi inti yang mendukung implementasi Industry 4.0 dan Industry 5.0.

Teknologi AI mencakup berbagai pendekatan seperti Machine Learning (ML), Deep Learning (DL), Computer Vision, Natural Language Processing (NLP), Expert Systems, serta Reinforcement Learning. Kemampuan AI dalam mengolah data dalam jumlah besar memungkinkan

identifikasi pola yang sulit dikenali melalui analisis konvensional.

Descatha et al. [23] menjelaskan bahwa penerapan AI pada bidang Occupational Health and Safety (OHS) berkembang pesat dalam beberapa area utama, yaitu deteksi risiko kerja, analisis perilaku pekerja, prediksi kecelakaan kerja, pemantauan kesehatan pekerja, dan pengambilan keputusan berbasis data. AI memungkinkan proses identifikasi bahaya dilakukan secara otomatis dengan tingkat akurasi yang lebih tinggi dibandingkan metode manual.

Dalam aspek ergonomi, Mudiyanse et al. [45] mengembangkan sistem penilaian risiko ergonomi otomatis menggunakan sensor sEMG dan algoritma machine learning untuk mengidentifikasi tingkat risiko pekerja saat melakukan aktivitas manual material handling. Teknologi serupa memungkinkan organisasi melakukan pemantauan ergonomi secara real-time sehingga tindakan perbaikan dapat dilakukan lebih cepat. Selain itu, perkembangan computer vision memungkinkan sistem AI menganalisis postur tubuh pekerja melalui kamera tanpa memerlukan observasi langsung. Teknologi ini berpotensi menggantikan metode observasional tradisional seperti RULA dan REBA dengan sistem yang lebih objektif, cepat, dan berkelanjutan.

2.4 Big Data dan Big Data Analytics

Big Data merupakan kumpulan data yang memiliki karakteristik volume, velocity, variety, veracity, dan value yang sangat besar sehingga tidak dapat dikelola menggunakan metode pengolahan data tradisional. Dalam lingkungan manufaktur modern, data dihasilkan dari berbagai sumber seperti sensor IoT, mesin produksi, wearable devices, kamera pengawas, sistem ERP, serta catatan keselamatan kerja.

Menurut Mohammadpoor dan Torabi [44], Big Data Analytics memungkinkan organisasi mengekstraksi informasi bernilai dari data yang sangat besar untuk mendukung pengambilan

keputusan yang lebih efektif. Kemampuan ini menjadi fondasi utama dalam implementasi sistem manufaktur cerdas. Qiao dan Chen [58] menjelaskan bahwa Big Data Safety memiliki peran penting dalam pengelolaan keselamatan kerja melalui pengumpulan, integrasi, analisis, dan visualisasi data keselamatan secara komprehensif. Pendekatan ini memungkinkan organisasi mengidentifikasi pola risiko, menganalisis penyebab kecelakaan, serta memprediksi potensi kejadian berbahaya sebelum terjadi.

Dalam konteks manufaktur, Big Data Analytics dapat dimanfaatkan untuk: (1) Menganalisis data kecelakaan kerja historis, (2) Mengidentifikasi pola risiko ergonomi, (3) Memonitor kondisi kesehatan pekerja secara realtime, (4) Mendukung predictive maintenance mesin produksi, dan (5) Mengoptimalkan pengambilan keputusan terkait K3. Kemampuan analitik tersebut menjadikan Big Data sebagai sumber informasi strategis yang mendukung implementasi Artificial Intelligence dalam sistem keselamatan kerja dan ergonomi.

2.5 Industry 4.0, Industry 5.0, dan Human-Centered Manufacturing

Konsep Industry 4.0 ditandai oleh integrasi teknologi digital, Internet of Things (IoT), Artificial Intelligence, Big Data Analytics, Cloud Computing, Cyber-Physical Systems, dan otomatisasi cerdas dalam proses produksi. Tujuannya adalah meningkatkan efisiensi, fleksibilitas, dan produktivitas manufaktur. Namun, perkembangan industri global menunjukkan pergeseran menuju Industry 5.0 yang menempatkan manusia sebagai pusat sistem produksi. Ciccarelli et al. [20] menjelaskan bahwa Industry 5.0 menekankan kolaborasi antara manusia dan teknologi dengan tujuan menciptakan sistem manufaktur yang lebih berkelanjutan, tangguh, dan berorientasi pada kesejahteraan pekerja.

Konsep Operator 4.0 menjadi salah satu implementasi utama pendekatan human-centered manufacturing. Operator 4.0 menggambarkan pekerja yang didukung oleh teknologi digital seperti

AI, augmented reality, wearable devices, collaborative robots (cobots), dan digital assistants untuk meningkatkan kemampuan fisik maupun kognitif pekerja. Teknologi tersebut membantu mengurangi beban kerja fisik, meningkatkan keselamatan, dan memperbaiki kualitas keputusan operasional. Dengan demikian, AI dan Big Data tidak dipandang sebagai pengganti manusia, melainkan sebagai teknologi pendukung yang meningkatkan kemampuan manusia dalam bekerja secara aman dan produktif.

2.6 Integrasi Artificial Intelligence dan Big Data untuk Optimalisasi Ergonomi dan K3

Integrasi AI dan Big Data membentuk fondasi utama dalam pengembangan sistem keselamatan dan ergonomi berbasis data. Big Data berfungsi sebagai sumber data yang berasal dari berbagai perangkat dan sistem produksi, sedangkan AI bertindak sebagai mesin analitik yang mengubah data tersebut menjadi informasi dan rekomendasi yang dapat ditindaklanjuti.

Hubungan keduanya menghasilkan berbagai aplikasi dalam lingkungan manufaktur, antara lain: (1) Prediksi kecelakaan kerja berbasis machine learning, (2) Pemantauan postur kerja secara otomatis menggunakan computer vision, (3) Deteksi kelelahan pekerja melalui wearable sensors, (4) Identifikasi risiko ergonomi secara real-time, (5) Pengambilan keputusan K3 berbasis data historis dan data real-time, serta (6) Human-Robot Collaboration (HRC) yang aman dan ergonomis.

Arana-Landín et al. [8] menemukan bahwa Artificial Intelligence, Big Data, robotics, dan machine vision berkontribusi dalam mengurangi risiko ergonomi, risiko fisik, serta meningkatkan keselamatan kerja pada lingkungan industri. Di sisi lain, Giallanza et al. [30], Lorenzini et al. [41], dan Shah et al. [66] menunjukkan bahwa integrasi AI pada sistem kolaborasi manusia-robot mampu menciptakan lingkungan kerja yang lebih aman, adaptif, dan berorientasi pada pekerja.

Berdasarkan uraian tersebut, dapat disimpulkan bahwa Artificial Intelligence dan Big Data merupakan teknologi kunci yang mendukung transformasi sistem ergonomi dan K3 dari pendekatan konvensional menuju sistem yang prediktif, adaptif, dan berbasis data. Integrasi kedua teknologi tersebut menjadi fondasi penting dalam mewujudkan smart manufacturing dan human-centered manufacturing pada era Industry 5.0.

III. METODE PENELITIAN

3.1 Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan Systematic Literature Review (SLR) yang dirancang untuk mengidentifikasi, mengevaluasi secara kritis, serta menyintesis seluruh temuan ilmiah relevan terkait integrasi kecerdasan buatan (Artificial Intelligence/AI) dan analitik data besar (Big Data Analytics) dalam ranah Ergonomi dan Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3). Protokol penelitian disusun berpatokan pada pedoman PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) guna menjamin akuntabilitas, transparansi, serta keberulangan (repeatability) dari proses penarikan kesimpulan ilmiah.

Pendekatan kuantitatif-kualitatif terintegrasi diterapkan melalui analisis deskriptif bibliometrik dan sintesis tematis terhadap korpus literatur yang secara khusus bersumber dari daftar referensi eksternal terkuras (terdiri atas 75 publikasi ilmiah yang mencakup rentang waktu 2019 hingga 2026). Melalui kerangka SLR ini, penelitian memetakan evolusi metode riset—mulai dari metode konvensional berbasis observasi lapangan hingga metode mutakhir berbasis sensor cerdas dan komputasi cerdas.

3.2 Matriks Keterkaitan PICOC – Research Question (RQ)

Tabel berikut menyajikan pemetaan komprehensif antara elemen PICOC, Rumusan Masalah (RQ), Indikator Evaluasi, serta Temuan

Utama dari sintesis 75 literatur untuk memberikan gambaran konseptual yang utuh.

Elemen PICOC	Rumusan Masalah (RQ)	Indikator / Parameter Evaluasi	Sintesis Temuan Literatur Referensi
Population (P): Sistem kerja & pekerja manufaktur/ industri. Context (C): Industri 4.0 & Transisi Industri 5.0.	RQ1: Tren & Evolusi Metodologi Bagaimana pemetaan tren publikasi dan evolusi metodologi riset Ergonomi dan K3 dari metode observasional konvensional hingga integrasi AI dan Big Data?	- Distribusi tahun publikasi (2019–2026). - Pergeseran fokus metode (Observasional vs Sensor/AI). - Taksonomi kluster tematik.	Evolusi terbagi dalam 4 klaster: Ergonomi Fisik Konvensional (35%), K3 Tradisional (25%), Sensor & DHM (20%), serta AI, Big Data & Cobots (20%). Terjadi pergeseran dari diagnosis reaktif ke sistem pemantauan prediktif.
Intervention (I): AI, Wearable Sensors, Computer Vision. Comparison (C): RULA, REBA, OWAS, SOFI, Antropometri Manual.	RQ2: Transformasi Evaluasi Ergonomi Bagaimana kecanggihan teknologi AI mentransformasi dan meningkatkan presisi metode penilaian risiko ergonomi?	- Akurasi deteksi postur kerja. - Otomasi penilaian RULA/REBA/OWAS. - Pengukuran beban fisiologis & sEMG realtime. - Simulasi Digital Human Modeling (DHM).	Penggunaan sEMG terintegrasi Machine Learning [45] dan Smart Vest [18] mengeliminasi bias observasi manual, memberikan biofeedback real-time, serta menurunkan risiko MSDs secara signifikan.
Intervention (I): Big Data Analytics & Arsitektur IoT. Comparison (C): HIRARC, JSA, HAZOP, FTA, Bowtie Statis.	RQ3: Penguatan Manajemen Risiko K3 Bagaimana peranan Big Data Analytics memperkuat metode identifikasi bahaya dan manajemen risiko K3 secara prediktif?	- Integrasi data sensor & log operasional. - Deteksi dini potensi kecelakaan. - Respons otomatis & Human-Robot Collaboration (HRC). - Predictive safety management.	Arsitektur Safety Big Data [58] dan algoritma AI pada Cobots [30], [66] mengubah lag indicators menjadi lead indicators, memungkinkan prediksi bahaya dan penyesuaian lintasan robot secara otomatis.

Outcome (O): Akurasi penilaian, presisi real-time, mitigasi MSDs/kecelakaan, Human-Centric Industry 5.0.	RQ4: Tantangan & Arah Masa Depan Apa saja tantangan teknis, etis, dan implementatif serta arah riset masa depan untuk K3 berorientasi manusia?	- Privasi data pekerja & isu etika. - Biaya investasi & kompleksitas data. - Kenyamanan fisik (wearability) & technostress. - Adopsi kerangka sosioteknis (HARVEST-5).	Tantangan utama mencakup privasi data medis/fisiologis dan biaya awal yang tinggi. Diperlukan pendekatan sosio-teknis [16], [47] agar teknologi berfungsi sebagai pendukung, bukan pengganti pekerja.
--	--	---	---

Tabel 1. Kerangka Kerja PICOC dalam Perumusan Pertanyaan Penelitian

3.3 Strategi Pengumpulan Literatur dan Sumber Data

Sumber data primer dalam studi literature review ini dibatasi secara eksplisit dan rinci pada himpunan 75 referensi artikel jurnal ilmiah bereputasi nasional dan internasional yang telah disediakan. Korpus literatur mencakup jurnal terindeks Scopus/WoS (seperti Applied Ergonomics, Safety Science, IEEE Access, Heliyon, Environment International, Decision Support Systems) serta jurnal nasional terakreditasi SINTA (seperti Jurnal INTECH, JENIUS, Performa, J@ti Undip, dan Jurnal SENOPATI).

Proses pencarian dan ekstraksi literatur dalam kerangka konseptual dikelompokkan ke dalam 4 taksonomi kata kunci utama yang saling beririsan:

1. Ergonomi Tradisional & Fisik
RULA, REBA, OWAS, SOFI, Antropometri, Musculoskeletal Disorders (MSDs), Cardiovascular Load (CVL), NASA-TLX, Biomekanika.
2. Metode K3 Konvensional
HIRARC, HIRADC, Job Safety Analysis (JSA), HAZOP, Fault Tree Analysis (FTA), Bowtie Analysis, SHERPA, HEART.
3. AI & Sensor Cerdas
Machine Learning, Artificial Intelligence, Wearable Sensors (sEMG, Smart Vest), Computer Vision, Digital Human Modeling, Human-Robot Collaboration, Exoskeleton.
4. Big Data & Industri 4.0/5.0
Big Data Analytics, Industry 4.0, Agriculture 5.0 (HARVEST-5), Bibliometric Analysis, Decision Support Systems, IoT.

3.4 Kriteria Inklusi dan Eksklusi

Untuk memastikan keabsahan dan relevansi tinggi dari studi yang ditelaah, diterapkan kriteria inklusi dan eksklusi ketat sebagaimana dirinci dalam Tabel 2.

Kriteria Inklusi	Kriteria Eksklusi
Artikel diterbitkan pada rentang tahun publikasi 2019– 2026.	Artikel diterbitkan di luar kurun waktu 2019–2026.
Artikel bersumber dari daftar 75 referensi terlampir (Jurnal Peer-Reviewed).	Artikel komersial, buku populer, majalah non-ilmiah, atau artikel blog tanpa peer-review.
Fokus pembahasan mencakup penilaian Ergonomi (MSDs, postur, beban kerja) dan/atau K3 (analisis risiko, kecelakaan kerja).	Studi yang tidak membahas aspek keselamatan, kesehatan kerja, maupun faktor manusia/ergonomi.
Membahas aplikasi metode konvensional, AI, sensor cerdas, Digital Human Modeling, atau Big Data Analytics dalam konteks industri.	Artikel yang tidak menyertakan kerangka metodologi analisis yang jelas atau data pendukung yang valid.

Tabel 2. Kriteria Inklusi dan Eksklusi Seleksi Literatur

3.5 Alur Seleksi Literatur PRISMA Flow

Prosedur pelaksanaan literature review ini mengadopsi standar internasional PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) untuk menjamin transparansi, akuntabilitas, dan reproduksibilitas kajian. Tahapan operasional dibagi menjadi 4 fase utama sebagaimana dijelaskan pada Tabel 3.

Tahapan PRISMA	Deskripsi Operasional	Penerapan pada 75 Jurnal Referensi
1. Identification (Identifikasi)	Pencarian artikel ilmiah dari database terindeks (Scopus, WoS, Google Scholar, ScienceDirect, IEEE, PubMed, Publisher Lokal).	Pengumpulan 75 jurnal bereputasi nasional (Sinta/JENIUS/INTECH/SENOPATI/J@ti) dan internasional (Heliyon, Safety Science, Applied Ergonomics, IEEE Access).
2. Screening (Penyaringan)	Penyaringan berdasarkan kriteria inklusi/eksklusi, kesesuaian judul, abstrak, dan eliminasi duplikasi.	Penyaringan fokus topik pada: (1) Ergonomi & Evaluasi Postur, (2) Manajemen Risiko K3 & Hazard Identification, (3) Industri 4.0/5.0 & Otomasi.
3. Eligibility (Kelayakan)	Evaluasi teks lengkap terhadap standar metodologis, ketersediaan DOI, serta kelengkapan data hasil analisis.	Penilaian 75 naskah secara utuh untuk memastikan metodologi yang digunakan (RULA, REBA, OWAS, HIRARC, HAZOP, JSA, AI, Sensor) tervalidasi.
4. Included (Sintesis Akhir)	Ekstraksi data, sintesis kuantitatif/kualitatif, serta pengelompokan tema dan pemetaan bibliometrik.	Sintesis final dari 75 jurnal yang menghasilkan 4 kluster utama pembahasan dan kerangka teoretis terpadu.

Tabel 3. Tahapan Alur Seleksi Literatur Berdasarkan Protokol PRISMA

3.6 Taksonomi dan Pengelompokan Tema Penelitian

Berdasarkan analisis konten dan kesamaan metodologi dari 75 jurnal referensi, studi dipetakan ke dalam 4 Klaster Tematik Utama sebagaimana dirinci pada Tabel 4.

Klaster Tematik	Metode/Tools	Fokus Kajian Utama	Referensi Kunci
Klaster 1 Ergonomi Biomekanik & Postur Kerja	RULA, REBA, OWAS, SOFI, QEC, Antropometri, CVL, NASA-TLX	Evaluasi cedera otot rangka (MSDs), pengangkatan beban manual (MMH), perancangan fasilitas kerja/kursi/meja ergonomis, beban kerja fisik & mental.	[1], [2], [4], [13], [39], [62]
Klaster 2 Manajemen Risiko K3 & Keselamatan Industri	HIRARC, HAZOP, JSA, HIRADC, Bowtie Analysis, SHERPA, HEART	Identifikasi bahaya, penilaian dan pengendalian risiko K3 pada lingkungan industri, manufaktur, proyek konstruksi, pelabuhan, dan pertambangan.	[6], [9], [12], [14], [35], [59], [74]
Klaster 3 Teknologi Industri 4.0/5.0 & Smart Safety	AI, sEMG Wearable Sensors, Smart Vest, Exoskeleton, Cobots, Big Data Analytics	Pengawasan K3 real-time, evaluasi postur otomatis berbasis sensor, interaksi manusia-robot (HRC), kerangka kerja Operator 4.0 & Agriculture 5.0.	[18], [23], [30], [45], [50], [66]
Klaster 4 Tinjauan Sistematis & Pemetaan Bibliometrik	Systematic Literature Review (SLR), MetaAnalysis, VOSviewer Bibliometrics	Analisis tren publikasi global, estimasi beban penyakit akibat kerja (WHO/ILO), evaluasi intervensi ergonomi secara komprehensif.	[10], [20], [33], [34], [37], [40], [70]

Tabel 4. Pemetaan Taksonomi dan Pengelompokan Tematik Literatur SLR

3.7 Ringkasan Matriks Metodologi Riset Terintegrasi

Tabel 5 menyajikan perbandingan komprehensif antara paradigma metode konvensional dengan paradigma berbasis AI & Big Data Analytics sebagaimana terpetakan dari 75 referensi studi yang dianalisis.

Dimensi Evaluasi	Paradigma Konvensional (Baseline)	Paradigma Cerdas (AI & Big Data)
Sumber Data & Pengukuran	Pengukuran manual, kuesioner, lembar observasi visual (REBA, RULA, JSA, NASA-TLX).	Sensor IoT, sEMG, Smart Vest, Kamera Computer Vision, Log Sistem Informasi.
Frekuensi & Sifat Analisis	Periodik, reaktif, dan bersifat pemotretan sesaat (cross sectional snapshot).	Real-time, kontinyu, prediktif, dan adaptif terhadap dinamika kerja.
Tingkat Subjektivitas	Tinggi (sangat bergantung pada persepsi evaluator dan self-report pekerja).	Rendah (berbasis sinyal biologis, pemrosesan citra digital, dan algoritma Machine Learning).
Cakupan Mitigasi	Fokus pada perbaikan fisik lokal (alat bantu, redesain meja/kursi kerja).	Fokus pada integrasi sistemik (CoBot, SIM-K3, Big Data keselamatan tambang/pabrik).
Referensi Representatif	[4], [6], [13], [31], [52]	[18], [23], [45], [58], [66]

Tabel 5. Matriks Perbandingan Metodologi Konvensional vs. AI & Big Data Analytics

3.8 Evaluasi Kualitas dan Pengendalian Bias

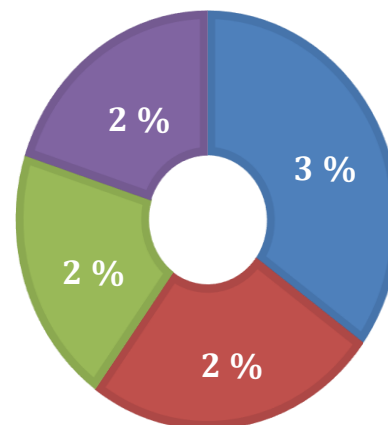
Untuk memastikan keabsahan sintesis riset, evaluasi kualitas studi terlampir dilakukan menggunakan instrumen kualitatif yang menilai 3 domain kritis: (1) Kejelasan metodologi sampel dan pengumpulan data, (2) Rigoritas analisis data (baik statistik konvensional maupun validasi model Machine Learning), serta (3) Relevansi temuan terhadap praktik Ergonomi dan K3. Proses sintesis dilakukan secara independen oleh tim peneliti untuk

meminimalkan selection bias dan misinterpretasi data referensi.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Analisis Distribusi Tematik Literatur

Berdasarkan analisis komprehensif terhadap 75 artikel ilmiah bereputasi yang dipublikasikan dalam rentang waktu tahun 2019 hingga 2026, hasil kajian literatur menunjukkan transformasi metodologis yang signifikan dalam disiplin ilmu Ergonomi dan Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3). Penelitian ini mengelompokkan taksonomi literatur ke dalam empat klaster utama yang menggambarkan evolusi dari analisis risiko subjektif/manual menuju sistem pemantauan prediktif berbasis Kecerdasan Buatan (Artificial Intelligence / AI) dan Big Data Analytics.



- Evaluasi Postur & Ergonomi Fisik Konvensional
- Manajemen Risiko & Pengendalian K3 Tradisional
- Teknologi Sensor, Digital Human Modeling (DHM) & Exoskeleton
- Kecerdasan Buatan (AI), Big Data Analytics & System Integration K3 5.0

Grafik 1. Distribusi Persentase Klaster Fokus Penelitian Literature Review AI & Big Data untuk Ergonomi dan K3

Berdasarkan ilustrasi pada Grafik 1, distribusi taksonomi literatur terbagi secara proporsional sebagai berikut:

1. Evaluasi Postur & Ergonomi Fisik Konvensional (35,0%)
Mencakup studi diagnostik reaktif dan perancangan stasiun kerja menggunakan metode observasional terstandar seperti Rapid Upper Limb Assessment (RULA), Rapid Entire Body Assessment (REBA), Ovako Working Posture Assessment System (OWAS), Borg CR10, Subjective Assessment of Fatigue (SOFI), serta antropometri fisik.
2. Manajemen Risiko & Pengendalian K3 Tradisional (25,0%)
Berfokus pada pemetaan potensi bahaya industri, inspeksi keselamatan, dan mitigasi kecelakaan kerja berbasis matriks risiko kuantitatif maupun kualitatif melalui Hazard Identification, Risk Assessment, and Risk Control (HIRARC), Job Safety Analysis

(JSA), Hazard and Operability Study (HAZOP), Fault Tree Analysis (FTA), dan Bowtie Analysis.

3. Teknologi Sensor, Digital Human Modeling (DHM) & Exoskeleton (20,0%)
Mewakili tahap transisi digitalisasi yang mengintegrasikan instrumen biomekanik real-time, seperti sensor electromyography (sEMG), smart vest, perangkat lunak simulasi DHM, dan teknologi pembebanan fisik aktif/pasif (exoskeleton).
4. Kecerdasan Buatan (AI), Big Data Analytics & System Integration K3 5.0 (20,0%)
Merupakan puncak pergeseran paradigma yang memanfaatkan algoritma Machine Learning, Deep Learning, Internet of Things (IoT), Big Data terdistribusi, serta Robotika Kolaboratif (Cobots) untuk pengawasan K3 preskriptif dan adaptif secara real-time.

Tabel 6 menyajikan sintesis komprehensif mengenai perbedaan karakteristik, parameter pengamatan, keunggulan, serta keterbatasan utama di antara keempat paradigma pendekatan yang ditemukan dalam korpus literatur.

Klaster Metodologi	Fokus Parametrik	Keunggulan	Keterbatasan
Ergonomi Fisik Konvensional (35,0%)	Postur sudut sendi, beban biomekanik, antropometri statis/dinamis, keluhan MSDs.	Biaya implementasi murah, mudah diterapkan di lapangan, standar baku dunia.	Tingkat subjektivitas tinggi, tidak kontinu, rentan bias observer.
Manajemen Risiko K3 Tradisional (25,0%)	Frekuensi kecelakaan, matriks keparahan bahaya, kepatuhan SOP K3.	Struktur analitis yang teruji, mencakup aspek manajerial dan organisasi.	Bersifat pasif/reaktif, bergantung pada pelaporan manual, lag indicator.
Teknologi Sensor & DHM (20,0%)	Aktivitas otot (sEMG), sudut biomekanik presisi, simulasi CAD/DHM, reduksi strain.	Akurasi data obyektif, visualisasi 3D, evaluasi sebelum intervensi fisik.	Interferensi sinyal sensor, pembatasan gerak, biaya perangkat keras tinggi.
AI, Big Data & Cobots (20,0%)	Visi komputer (computer vision), Big Data terintegrasi, respons cobot, prediksi K3.	Monitoring real-time, kemampuan prediktif/preskriptif, respons otomatis.	Kompleksitas komputasi, kendala privasi data pekerja, investasi awal besar.

Tabel 6. Perbandingan Metodologis Kajian Literatur Ergonomi dan K3

4.2 Pembahasan Sintesis Literatur

4.2.1 Landasan Diagnostik: Dominasi Metodologi Ergonomi dan K3 Konvensional

Hasil literature review memperlihatkan bahwa mayoritas literatur 60% jika digabungkan antara klaster ergonomi fisik dan K3 tradisional masih mengandalkan instrumen penilaian konvensional. Pendekatan ini terbukti efektif dalam mengidentifikasi titik kritis potensi bahaya lingkungan kerja dan penyakit akibat kerja (PAK), khususnya Musculoskeletal Disorders (MSDs).

Dalam konteks ergonomi fisik, studi-studi terkini secara konsisten mengonfirmasi tingginya prevalensi risiko cedera otot rangka pada berbagai sektor industri. Pada ranah manufaktur dan industri kreatif, penelitian oleh Bakhtiar et al. [13] pada pekerja mencanting kain batik tulis pesisir serta Setiawan et al. [65] pada pengrajin tenun Tanjung

mengungkap bahwa postur kerja membungkuk yang statis dan repetitif memicu tingkat keluhan MSDs yang signifikan pada area punggung bawah dan leher. Temuan serupa ditegaskan oleh Patradhiani et al. [51] pada pengrajin songket dan Eka Sopyana [27] dalam perancangan fasilitas khusus. Penilaian postur menggunakan metode Rapid Upper Limb Assessment (RULA) dan Rapid Entire Body Assessment (REBA) terbukti menjadi instrumen diagnostik yang andal untuk menguantifikasi risiko mekanis tersebut, sebagaimana diterapkan oleh Alfandianto et al. [4] pada operator book lift, Armanda & Sukanta [11] di PT. TAM, Amanda Yudhistira et al. [5] pada IKM mebel, serta Wicaksono & Herdman [73] pada proses polishing dies.

Selain sektor manufaktur tradisional, efektivitas metode pengukuran biomekanik dan kelelahan kerja konvensional juga teruji pada industri proses berisiko

tinggi dan sektor medis. Aaron et al. [1] membuktikan bahwa risiko cedera ergonomis mengancam berbagai spesialisasi bedah akibat posisi statis berdurasi panjang, yang mana relevan dengan kajian literatur sistematis Lietz et al. [40] mengenai pencegahan penyakit muskuloskeletal pada profesional kedokteran gigi. Pada aktivitas manual material handling (MMH) dan industri berat, penelitian Ahmad Afandy & Nurhidayat [3] mengombinasikan metode SOFI dan OWAS untuk mengukur tingkat kelelahan dan risiko postur pekerja di PT. XYZ, sejalan dengan analisis pengangkutan galon air mineral oleh Suhendar et al. [67] dan perancangan alat bantu pengangkut drum oleh Muhammad Burhanuddin [46]. Lebih lanjut, aspek antropometri fisik tetap menjadi fondasi utama dalam perancangan ulang stasiun kerja ergonomis guna meminimalkan hambatan beban kerja fisiologis, seperti ditunjukkan oleh Dewantari et al. [24], Kurnia [39], Pratama et al. [53], serta Rosyidiin et al. [62]. Meta-analisis global oleh Hulshof et al. [33], [34] di bawah naungan WHO/ILO mempertegas secara epidemiologis bahwa paparan faktor risiko ergonomis di tempat kerja berkorelasi langsung terhadap tingginya angka osteoarthritis sendi panggul, lutut, dan gangguan otot rangka secara global.

Pada ranah manajemen keselamatan kerja (K3), integrasi kerangka HIRARC (Hazard Identification, Risk Assessment, and Risk Control), JSA (Job Safety Analysis), HAZOP (Hazard and Operability Study), dan Bowtie Analysis terbukti berhasil mengendalikan bahaya fisik dan operasional. Implementasi HIRARC dan JSA secara konsisten diterapkan oleh Ghika Smarandana et al. [29], Ardana Sultan Alhaq & Afiya [9], Anwar [6], Ginting et al. [31], dan Hafizhahra & Yusianto [32] untuk menurunkan tingkat kecelakaan kerja pada proses pabrikasi, pembersihan, dan pemotongan logam CNC. Sementara itu, Cantika et al. [17] serta Nurmutia et al. [49] berhasil mendeteksi potensi kegagalan sistem pada pengaliran BBM dan pekerjaan plumbing menggunakan kombinasi HAZOP, FTA, dan JSA. Pemetaan risiko pada sektor

pelabuhan oleh Ihsan et al. [35] menggunakan Bowtie Analysis serta studi K3 di industri pertambangan oleh Putri & Yozani [56] dan Yuamita & Muladi [74] menunjukkan pentingnya tingkat pengetahuan dan pelatihan keselamatan kerja terhadap kewaspadaan operasional pekerja. Kendati demikian, keterbatasan mendasar dari seluruh pendekatan konvensional ini terletak pada sifatnya yang reaktif, bergantung pada observasi berkala, serta berpotensi menimbulkan bias interpretasi manusia.

4.2.2 Transisi Digital: Pemantauan Biomekanik Real-Time dan Digital Human Modeling

Guna mengatasi keterbatasan pengukuran subjektif, literatur dalam klaster ketiga (20,0%) menunjukkan pergeseran ke arah penggunaan teknologi sensor terpasang (wearable sensors), Digital Human Modeling (DHM), dan perangkat biomekanik aktif. Pendekatan ini memungkinkan ekstraksi data kuantitatif secara kontinu tanpa mengganggu dinamika kerja operator.

Penggunaan sensor surface Electromyography (sEMG) terintegrasi Machine Learning oleh Mudiyansele et al. [45] mengindikasikan lonjakan akurasi dalam menilai risiko ergonomis secara otomatis pada aktivitas penanganan material manual. Inovasi ini sejalan dengan pengembangan smart vest oleh Cerqueira et al. [18] yang memberikan umpan balik biofeedback postur secara real-time untuk mencegah deviasi tulang belakang pekerja. Di sisi simulasi digital, Abryandoko et al. [2] memanfaatkan Digital Human Modeling (DHM) untuk mengevaluasi dan merancang meja kerja pengelasan praktikum, sehingga eliminasi risiko ergonomis dapat dilakukan sejak tahap pra-manufaktur tanpa memerlukan prototipe fisik yang mahal.

Di samping pemantauan kuantitatif, teknologi intervensi fisik berupa exoskeleton dan additive manufacturing mulai diintegrasikan secara masif di lingkungan kerja modern. Evaluasi eksperimental oleh Pacifico et al. [50] terhadap exoskeleton ekstremitas atas proto-mate membuktikan penurunan beban ketegangan fisik otot bahu pekerja secara

signifikan pada stasiun kerja perakitan industri [22]. Selanjutnya, kajian sistematis Kermavnar et al. [37] menguraikan bagaimana teknologi 3D printing/additive manufacturing mendukung kustomisasi peralatan kerja yang sesuai secara spesifik dengan antropometri individu pekerja. Kerangka kerja kematangan K3 Industri 4.0 yang disusun oleh Kusma et al. [7] serta konsep Operator 4.0 oleh Ciccarelli et al. [20] menegaskan bahwa adopsi teknologi sensorik dan digitalisasi ini merupakan pilar utama dalam membangun lingkungan kerja yang adaptif, terukur, dan berpusat pada manusia (human-centric).

4.2.3 Disrupsi AI dan Big Data: Menuju Paradigma K3 Prediktif dan Industri 5.0

Klaster puncak dalam kajian ini (20,0%) menandai revolusi paradigma K3 dari sekadar pemantauan reaktif menjadi sistem preskriptif dan otomatis berbasis Artificial Intelligence (AI) dan Big Data Analytics. Sebagaimana disimpulkan dalam umbrella review global oleh Descatha et al. [23] dan review bibliometrik oleh Tong et al. [70], aplikasi AI dalam kesehatan kerja tidak hanya melingkupi pengenalan pola bahaya secara otomatis melalui Computer Vision, tetapi juga pemodelan risiko prediktif yang mampu mengantisipasi insiden sebelum terjadi.

Dalam konteks Big Data, penelitian Qiao & Chen [58] mengonstruksi kerangka kerja Safety Big Data pada tambang batubara, yang mengintegrasikan ribuan aliran data sensor lingkungan, status mesin, dan variabel fisiologis pekerja untuk menekan angka kecelakaan kerja secara drastis. Relevan dengan hal tersebut, Mohammadpoor & Torabi [44] serta Chen et al. [19] membuktikan bahwa kapabilitas analitis Big Data dan alignment teknologi informasi mendukung pengambilan keputusan strategis K3 saat menghadapi kondisi kritis dan gangguan operasional kompleks. Implementasi sistem informasi manajemen K3 yang dikembangkan oleh Turseno et al. [72] pada proyek konstruksi memfasilitasi pengawasan kinerja K3 yang terpusat dan terekam secara digital.

Perkembangan paling progresif terlihat pada ranah interaksi Manusia-Robot (Human-Robot Collaboration / HRC) dan Robotika Kolaboratif (Cobots). Penelitian oleh Proia et al. [55], Lorenzini et al. [41], Giallanza et al. [30], serta Shah et al. [66] menunjukkan bahwa integrasi algoritma AI pada cobots memungkinkan robot untuk secara dinamis menyesuaikan kecepatan, lintasan gerak, dan gaya angkat berdasarkan postur kerja serta tingkat kelelahan manusia di sekitarnya. Hal ini mewujudkan lingkungan kerja yang tidak hanya aman dari ancaman benturan fisik, tetapi juga optimal secara ergonomis.

Seluruh perkembangan berorientasi masa depan ini bermuara pada paradigma Industri 5.0, sebagaimana dirumuskan dalam model HARVEST-5 oleh Brodny & Tutak [16] dan kerangka kerja sosio-teknis oleh Neumann et al. [47]. Industri 5.0 menempatkan manusia kembali sebagai pusat dari sistem produksi (human-centric), di mana AI dan Big Data berfungsi sebagai alat pemberdayaan untuk menciptakan ekosistem kerja yang tangguh, berkelanjutan, dan memprioritaskan kesejahteraan fisik serta mental pekerja secara holistik.

V. KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan sintesis dan pembahasan hasil Systematic Literature Review (SLR) terhadap 75 referensi jurnal bereputasi, dapat ditarik beberapa kesimpulan utama sebagai berikut:

1. **Sintesis Transisi Metodologis**
Terdapat evolusi yang jelas dalam penelitian Ergonomi dan K3, bergerak dari metode observasional konvensional berbasis kuesioner dan penilaian visual manual (seperti RULA, REBA, HIRARC) menuju sistem digital interaktif (sensor sEMG, smart vest, DHM) dan berpuncak pada ekosistem prediktif berbasis AI dan Big Data Analytics.
2. **Komplementaritas Pendekatan**

Meskipun metode AI dan Big Data menawarkan kapabilitas pemantauan real-time dan prediktif, metode konvensional seperti antropometri dan identifikasi bahaya kualitatif tetap krusial sebagai landasan diagnostik awal dan validasi lapangan.

3. Dampak pada Kesejahteraan Pekerja
Integrasi teknologi kecerdasan buatan, cobots yang ergonomis, dan analitis Big Data terbukti secara signifikan menurunkan tingkat kelelahan fisik, risiko kecelakaan kerja, dan prevalensi Musculoskeletal Disorders (MSDs) di berbagai industri.

5.2 Rekomendasi Praktis dan Arah Penelitian Masa Depan

1. Interoperabilitas dan Standarisasi Data
Diperlukan pengembangan protokol standar untuk mengintegrasikan data sensor

wearable multisensor dengan platform Big Data K3 perusahaan secara aman dan terenkripsi.

2. Etika dan Privasi Pekerja
Implementasi pemantauan AI dan sensor fisiologis pekerja secara kontinu harus memperhatikan batasbatas etika, kerahasiaan data medis, dan privasi individu guna menghindari tekanan psikologis (technostress).
3. Adopsi Model Sosio-Teknis Industri 5.0
Organisasi disarankan untuk mengadopsi pendekatan human-centric dalam perancangan stasiun kerja, di mana otomatisasi AI berfungsi untuk mendukung, bukan menggantikan, peran serta kenyamanan manusia di tempat kerja.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. A. Aaron *et al.*, "The risk of ergonomic injury across surgical specialties," *PLoS One*, vol. 16, no. 2 February, pp. 1–13, 2021, doi: 10.1371/journal.pone.0244868.
- [2] E. W. Abryandoko, A. P. Farahdiansari, A. R. Ramadhani, and M. Nurudduja, "Digital Human Modeling sebagai Evaluasi dan Perancangan Meja Kerja Pengelasan untuk Pembelajaran Praktikum Mahasiswa," *J. INTECH Tek. Ind. Univ. Serang Raya*, vol. 10, no. 1, pp. 19–24, 2024, doi: 10.30656/intech.v10i1.8368.
- [3] Ahmad Afandy and Asep Endih Nurhidayat, "Pengukuran risiko musculoskeletal disorders pada kegiatan manual material handling menggunakan metode SOFI dan OWAS di PT. XYZ," *JENIUS J. Terap. Tek. Ind.*, vol. 3, no. 2, pp. 90–102, 2022, doi: 10.37373/jenius.v3i2.306.
- [4] A. Alfandianto, C. E. Suharyanto, and C. Marzuki, "Evaluasi Postur Kerja Operator Book Lift Menggunakan Pendekatan Rapid Upper Limb Assessment (RULA)," *SAINTEK J. Ilm. Sains dan Teknol. Ind.*, vol. 5, no. 1, pp. 39–46, 2021, doi: 10.32524/saintek.v5i1.247.
- [5] G. Amanda Yudhistira, S. D. D. Utami, C. Basumerda, and Qurtubi, "Perbaikan Stasiun Kerja IKM Mebel dengan Metode REBA, QEC dan Pengukuran Antropometri INFORMASI ARTIKEL ABSTRAK," *J. INTECH Tek. Ind. Univ. Serang Raya*, vol. 9, no. 2, pp. 141–146, 2023, [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.30656/intech.v9i2.6306>
- [6] S. Anwar, "Analisis risiko bahaya proses kebersihan untuk menurunkan tingkat kecelakaan kerja menggunakan metode hirarc dan job safety analysis Risk analysis of cleaning process hazards to reduce work accident rates using the hirarc method and job safety analysis," *JENIUS J. Terap. Tek. Ind.*, vol. 7, pp. 241–249, 2026.

- [7] V. V. Kusma, B. M. Gerônimo, F. C. Zola, F. V. Aragão, D. M. De Genaro Chiroli, and J. L. Kovaleski, "A maturity model of occupational safety and health in industry 4.0: An analysis in Brazilian organizations," *J. Saf. Sustain.*, vol. 1, no. 4, pp. 234–246, 2024, doi: 10.1016/j.jsasus.2024.11.002.
- [8] G. Arana-Landín, I. Laskurain-Iturbe, M. Iturrate, and B. Landeta-Manzano, "Assessing the influence of industry 4.0 technologies on occupational health and safety," *Heliyon*, vol. 9, no. 3, 2023, doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e13720.
- [9] Ardana Sultan Alhaq and Syifa Nur Afiya, "Analisis keselamatan dan kesehatan kerja pada PT Avia Cahya Raya menggunakan hazard identification risk assessment and control," *JENIUS J. Terap. Tek. Ind.*, vol. 5, no. 1, pp. 33–44, 2024, doi: 10.37373/jenius.v5i1.749.
- [10] A. M. Ario Wicaksono, Indri Hapsari Susilowati, "Pemetaan, Analisis Komputasional, Bibliometrik Pada, Publikasi Factor, Human Vosviewer, Menggunakan," *J. SENOPATI*, 2025.
- [11] M. R. Armanda and Sukanta, "Penilaian risiko postur pekerja di PT. TAM dengan metode rapid upper limb assessment," *JENIUS J. Terap. Tek. Ind.*, vol. 4, no. 1, pp. 142–154, 2023, doi: 10.37373/jenius.v4i1.523.
- [12] Assyifa Sya'bani and Dene Herwanto, "Analisis Potensi Kecelakaan Kerja di Area Mesin Ring Frame Menggunakan Metode HIRADC Pada PT. XYZ," *JENIUS J. Terap. Tek. Ind.*, vol. 4, no. 2, pp. 313–322, 2023, doi: 10.37373/jenius.v4i2.711.
- [13] Bakhtiar, Trisna, and Normi, "Analisis keluhan musculoskeletal disorders (Msds) menggunakan metode reba pada pekerja stasiun mencanting di industri kain batik tulis pesisir," *JENIUS J. Terap. Tek. Ind.*, vol. 5, no. 2, pp. 278–288, 2024, doi: 10.37373/jenius.v5i2.1397.
- [14] S. Bastuti, "Apartemen Menggunakan Metode Hazard Operability Study (HAZOPS)," *J. INTECH Tek. Ind. Univ. Serang Raya*, vol. 7, no. 1, pp. 7–14, 2021.
- [15] C. Benson, I. C. Obasi, D. V. Akinwande, and C. Ile, "The impact of interventions on health, safety and environment in the process industry," *Heliyon*, vol. 10, no. 1, p. e23604, 2024, doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e23604.
- [16] J. Brodny and M. Tutak, "A human-adaptive, resilient, value-embedded socio-technical framework for agriculture 5.0: The HARVEST-5 model," *J. Open Innov. Technol. Mark. Complex.*, vol. 12, no. 2, p. 100756, 2026, doi: 10.1016/j.joitmc.2026.100756.
- [17] N. A. Cantika, L. D. Fathimahhayati, and T. A. Pawitra, "Penilaian Risiko K3 pada Pengaliran BBM ke Tangki Timbun dengan Menggunakan Metode HAZOP dan FTA," *J. INTECH Tek. Ind. Univ. Serang Raya*, vol. 8, no. 1, pp. 67–74, 2022, doi: 10.30656/intech.v8i1.4640.
- [18] S. M. Cerqueira, A. F. Da Silva, and C. P. Santos, "Smart Vest for Real-Time Postural Biofeedback and Ergonomic Risk Assessment," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 107583–107592, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3000673.
- [19] L. Chen, H. Liu, Z. Zhou, M. Chen, and Y. Chen, "IT-business alignment, big data analytics capability, and strategic decision-making: Moderating roles of event criticality and disruption of COVID-19," *Decis. Support Syst.*, vol. 161, no. January, p. 113745, 2022, doi: 10.1016/j.dss.2022.113745.
- [20] M. Ciccarelli, A. Papetti, and M. Germani, "Exploring how new industrial paradigms affect the workforce: A literature review of Operator 4.0.," *J. Manuf. Syst.*, vol. 70, no. July, pp. 464–483, 2023, doi: 10.1016/j.jmsy.2023.08.016.
- [21] A. Citrawati, B. Suhardi, I. Iftadi, E. Liquiddanu, and M. E. Sulistyono, "Analisis Keselamatan dan Kesehatan Kerja di Industri Gamelan Wirun Palu Gongso," *Performa Media Ilm. Tek. Ind.*, vol. 20, no.

- 1, p. 35, 2021, doi: 10.20961/performa.20.1.45581.
- [22] A. Colim *et al.*, "Towards an ergonomic assessment framework for industrial assembly workstations - A case study," *Appl. Sci.*, vol. 10, no. 9, 2020, doi: 10.3390/app10093048.
- [23] A. Descatha *et al.*, "Artificial Intelligence and Occupational Health: Global Umbrella Review of Applications and Limitations," *Saf. Health Work*, no. xxxx, 2026, doi: 10.1016/j.shaw.2026.02.004.
- [24] N. M. Dewantari, K. S. Oktaviani, L. R. Hafsa, R. Maulana, F. A. Rahmansyah, and T. B. Aldriansyah, "Analisis Postur Kerja Dan Re-Desain Fasilitas Kerja Pada UMKM Bata Merah Top," *Performa Media Ilm. Tek. Ind.*, vol. 23, no. 2, p. 151, 2024, doi: 10.20961/performa.23.2.85279.
- [25] A. P. Dewi and Agus Edy Pramono, "Optimalisasi Tata Letak Fasilitas Produksi dengan Pendekatan Ergonomi dan Efisiensi," *J. INTECH Tek. Ind. Univ. Serang Raya*, vol. 10, no. 2, pp. 98–104, 2024, doi: 10.30656/intech.v10i2.8855.
- [26] Y. P. Dwika Anggara Wijaya, Anita Oktaviana, "Perbedaan Tingkat Kelelahan Akibat Kerja Antara Shift Pagi, Shift Siang dan Shift Malam pada Operator di Bagian Ring Spinning Menggunakan Metode Observasional Analitik dengan Pendekatan Cross Sectional di PT. Excellence Qualities Yarn," *J. SENOPATI*, vol. 5, no. 1, pp. 56–68, 2023.
- [27] J. Eka Sopyana, "Perancangan Kursi Sekolah untuk Anak Autis yang Ergonomis dengan Pendekatan Metode Rasional," *J. SENOPATI*, vol. 5, no. 1, pp. 56–68, 2023.
- [28] A. R. M. Florentina Yuni Arini, Ariel James Maloringan, Munajid, Nico Anselmus Sihombing, Dhifansa Pradibtya Rafi, Mutia Zahra Fatiha Misbah, "Aspek Ergonomi Desain Antarmuka Aplikasi Signal Florentina," *J. SENOPATI*, vol. 5, no. 1, pp. 56–68, 2023.
- [29] Ghika Smarandana, Ade Momon, and Jauhari Arifin, "Penilaian Risiko K3 pada Proses Pabrikasi Menggunakan Metode Hazard Identification, Risk Assessment and Risk Control (HIRARC)," *J. INTECH Tek. Ind. Univ. Serang Raya*, vol. 7, no. 1, pp. 56–62, 2021, doi: 10.30656/intech.v7i1.2709.
- [30] A. Giallanza, G. La Scalia, R. Micale, and C. M. La Fata, "Occupational health and safety issues in human-robot collaboration: State of the art and open challenges," *Saf. Sci.*, vol. 169, no. October 2023, p. 106313, 2024, doi: 10.1016/j.ssci.2023.106313.
- [31] S. O. Ginting, D. Herwanto, and N. R. Sumitra, "Analisis pengendalian risiko menggunakan job safety analysis di gudang bahan kimia PT ESC Risk control analysis using job safety analysis at PT ESC," *JENIUS J. Terap. Tek. Ind.*, vol. 7, pp. 318–331, 2026, doi: 10.37373/jenius.v7i1.2247.
- [32] N. Hafizhahra and R. Yusianto, "Analisis risiko keselamatan dan kesehatan kerja (K3) pada mesin CNC laser cutting dan las SMAW menggunakan metode HIRARC dan JSA di sentra IKM logam Kota Semarang Occupational safety and health (K3) risk analysis on CNC laser cutting and SMAW welding," *JENIUS J. Terap. Tek. Ind.*, vol. 7, pp. 141–152, 2026.
- [33] C. T. J. Hulshof *et al.*, "The effect of occupational exposure to ergonomic risk factors on osteoarthritis of hip or knee and selected other musculoskeletal diseases: A systematic review and meta-analysis from the WHO/ILO Joint Estimates of the Work-related Burden of Disease and In," *Environ. Int.*, vol. 150, p. 106349, 2021, doi: 10.1016/j.envint.2020.106349.
- [34] C. T. J. Hulshof *et al.*, "The prevalence of occupational exposure to ergonomic risk factors: A systematic review and meta-analysis from the WHO/ILO Joint Estimates of the Work-related Burden of Disease and Injury," *Environ. Int.*, vol. 146, p. 106157, 2021, doi: 10.1016/j.envint.2020.106157.
- [35] T. Ihsan, A. K. Hendri, S. Silvia, and A. Maulidya, "Mitigasi Risiko Kecelakaan Kerja Di Pelabuhan Dengan Bowtie Analysis: Studi Kasus Di Pt Pelabuhan

- Indonesia Regional 2 Teluk Bayur,” *J@ti Undip J. Tek. Ind.*, vol. 20, no. 3, pp. 186–196, 2025, doi: 10.14710/jati.20.3.186-196.
- [36] A. Irawan and E. B. Leksono, “Analisis Beban Kerja pada Departemen Quality Control,” *J. INTECH Tek. Ind. Univ. Serang Raya*, vol. 7, no. 1, pp. 1–6, 2021, doi: 10.30656/intech.v7i1.2537.
- [37] T. Kermavnar, A. Shannon, and L. W. O’Sullivan, “The application of additive manufacturing / 3D printing in ergonomic aspects of product design: A systematic review,” *Appl. Ergon.*, vol. 97, no. May, 2021, doi: 10.1016/j.apergo.2021.103528.
- [38] A. H. Krisnadhi Hariyanto, “Identifikasi Sistem Kerja Dalam Mengurangi Muskuloskeletal Dan Risiko Cedera Pada Proses Manufaktur (Studi Kasus Pelatihan Mesin Bubut Mahasiswa Teknik Universitas Wijaya Putra Surabaya),” *J. SENOPATI*, vol. 00, pp. 12–22, 2020.
- [39] F. Kurnia, “Pengukuran antropometri untuk diterapkan pada perancangan kursi kuliah mahasiswa,” *JENIUS J. Terap. Tek. Ind.*, vol. 5, no. 2, pp. 213–221, 2024, doi: 10.37373/jenius.v5i2.1071.
- [40] J. Lietz, N. Ulusoy, and A. Nienhaus, “Prevention of musculoskeletal diseases and pain among dental professionals through ergonomic interventions: A systematic literature review,” *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 17, no. 10, 2020, doi: 10.3390/ijerph17103482.
- [41] M. Lorenzini, M. Lagomarsino, L. Fortini, S. Gholami, and A. Ajoudani, “Ergonomic human-robot collaboration in industry: A review,” *Front. Robot. AI*, vol. 9, no. January, pp. 1–24, 2023, doi: 10.3389/frobt.2022.813907.
- [42] R. Maisyaroh and H. Irawan, “PENGARUH ERGONOMI LINGKUNGAN KERJA TERHADAP KESELAMATAN OPERATOR MESIN DI PERUSAHAAN ELEKTRONIK XYZ,” *J@ti Undip J. Tek. Ind.*, vol. 21, no. 1, pp. 66–75, 2026.
- [43] I. Maulana, W. Widhiarso, and G. S. Dewi, “Analisis Pengaruh Beban Kerja terhadap Tingkat Kelelahan Pekerja Industri Rumah Tangga Keripik Tempe,” *J. INTECH Tek. Ind. Univ. Serang Raya*, vol. 9, no. 1, pp. 33–41, 2023, doi: 10.30656/intech.v9i1.5619.
- [44] M. Mohammadpoor and F. Torabi, “Big Data analytics in oil and gas industry: An emerging trend,” *Petroleum*, vol. 6, no. 4, pp. 321–328, 2020, doi: 10.1016/j.petlm.2018.11.001.
- [45] S. E. Mudiyanse, P. H. D. Nguyen, M. S. Rajabi, and R. Akhavan, “Automated workers’ ergonomic risk assessment in manual material handling using sEMG wearable sensors and machine learning,” *Electron.*, vol. 10, no. 20, 2021, doi: 10.3390/electronics10202558.
- [46] S. Muhammad Burhanuddin Daud Rosadi, “Perancangan Alat Bantu Pengangkut Barrel Drum Ergonomis Untuk Mengurangi Cidera dan Kelelahan Otot (Studi Kasus: PT X-Sidoarjo),” *J. SENOPATI*, vol. 5, no. 1, pp. 56–68, 2023.
- [47] W. P. Neumann, S. Winkelhaus, E. H. Grosse, and C. H. Glock, “Industry 4.0 and the human factor – A systems framework and analysis methodology for successful development,” *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 233, no. May 2020, p. 107992, 2021, doi: 10.1016/j.ijpe.2020.107992.
- [48] A. Nidhar and A. E. Pramono, “Ergonomic Chairless Chair Operator Assembly Manufaktur Otomotif untuk Mengurangi Gejala Muskuloskeletal Disorders,” *J. INTECH Tek. Ind. Univ. Serang Raya*, vol. 10, no. 2, pp. 81–88, 2024, doi: 10.30656/intech.v10i2.8852.
- [49] S. Nurmutia, W. Prasetya, and W. Sarwoko, “Analisis kecelakaan kerja dengan metode hazard and operability study dan job safety analysis pada pekerjaan plumbing Analysis of work accidents using the hazard and operability study method and job safety analysis in plumbing work,” *JENIUS J. Terap. Tek. Ind.*, vol. 6, no. Vol 6 No 2 (2025): JENIUS: Jurnal Terapan Teknik Industri, pp. 274–284, 2025, doi:

- 10.37373/jenius.v6i2.1889.
- [50] I. Pacifico *et al.*, “An experimental evaluation of the proto-mate: A novel ergonomic upper-limb exoskeleton to reduce workers’ physical strain,” *IEEE Robot. Autom. Mag.*, vol. 27, no. 1, pp. 54–65, 2020, doi: 10.1109/MRA.2019.2954105.
- [51] R. Patradhiani, B. Kurniawan, and M. Rosyidah, “Rancang Bangun Kursi Ergonomis Untuk Mengurangi Musculoskeletal Pada Pengrajin Songket Palembang,” *Performa Media Ilm. Tek. Ind.*, vol. 22, no. 2, p. 93, 2023, doi: 10.20961/performa.22.2.78370.
- [52] D. E. Pertiwi, M. M. Arifin, and M. Agustin, “Analisis beban kerja fisiologis dan psikologis menggunakan metode CVL (Cardiovascular Load) dan NASA-TLX pada pekerjaan petugas keamanan Analysis of physiological and psychological workload using the CVL (Cardiovascular Load) and NASA-TLX methods on s,” *JENIUS J. Terap. Tek. Ind.*, vol. 7, pp. 363–378, 2026.
- [53] B. W. N. Pratama, R. Herlianti, and Z. F. Ikatrinasari, “Perancangan Meja Kerja Ergonomis Dengan Metode Antropometri pada Proses Inspection Checking Output Green Tire di Perusahaan X,” *Performa Media Ilm. Tek. Ind.*, vol. 23, no. 2, p. 141, 2024, doi: 10.20961/performa.23.2.84759.
- [54] G. A. Priambudi, “Perbaikan Sistem Kerja untuk Meningkatkan Produktivitas Kerja dengan Metode Pendekatan Ergonomi Total (Studi Kasus: UKM Bedeng Ita Malioboro, Palembang),” *SAINTEK J. Ilm. Sains dan Teknol. Ind.*, vol. 5, no. 2, pp. 70–80, 2021.
- [55] S. Proia, R. Carli, G. Cavone, and M. Dotoli, “Control Techniques for Safe, Ergonomic, and Efficient Human-Robot Collaboration in the Digital Industry: A Survey,” *IEEE Trans. Autom. Sci. Eng.*, vol. 19, no. 3, pp. 1798–1819, 2022, doi: 10.1109/TASE.2021.3131011.
- [56] A. Putri and R. Yozani, “Keselamatan Kerja pada Industri Pertambangan,” *J. K3 Pertamb.*, vol. 19, no. 1, pp. 14–25, 2019.
- [57] R. Putri, A. Amri, and B. S. Vol, “PERANCANGAN ALAT BANTU PADA STASIUN KERJA PROOFING ROTI HOME INDUSTRY PALESTINA BAKERY DENGAN MENGGUNAKAN METODE ERGONOMIC FUNCTION DEPLOYMENT,” *SAINTEK J. Ilm. Sains dan Teknol. Ind.*, vol. 9, no. 2, pp. 16–26, 2025.
- [58] W. Qiao and X. Chen, “Connotation, characteristics and framework of coal mine safety big data,” *Heliyon*, vol. 8, no. 11, p. e11834, 2022, doi: 10.1016/j.heliyon.2022.e11834.
- [59] R. S. R. Syahputra, “Analisis Human Error pada Proses Produksi Pakan Ternak PT XYZ dengan Metode SHERPA dan HEART,” *Talent. Conf. Ser. Energy Eng.*, vol. 7, no. 1, pp. 271–277, 2024.
- [60] N. E. Rafela, A. Iswanto, A. R. I. Saputra, and N. A. Pambudi, “Penilaian Proses Produksi dan Ergonomi dengan Penerapan Mesin Pencuci Peragi Kedelai,” *J. INTECH Tek. Ind. Univ. Serang Raya*, vol. 10, no. 2, pp. 121–128, 2024, doi: 10.30656/intech.v10i2.8677.
- [61] S. Rizky, “Penggunaan Algoritma BLOCPLAN dalam Perbaikan Tata Letak Fasilitas untuk Mengoptimalkan Aliran Kerja Produksi,” *J. SENOPATI*, vol. 5, no. 1, pp. 56–68, 2025.
- [62] A. F. Rosyidiin, D. Kurniasih, W. Puspitasari, and N. A. Rahma, “Optimasi desain stasiun kerja berbasis antropometri untuk mengurangi risiko muskuloskeletal pada proses penggulangan dinamo Optimization of workstation design based anthropometric to reduce musculoskeletal risk in dynamo rewinding process,” *JENIUS J. Terap. Tek. Ind.*, vol. 7, pp. 50–62, 2026, doi: 10.37373/jenius.v7i1.1955.
- [63] M. Sánchez-Brau, B. Domenech-Amigot, F. Brocal-Fernández, J. A. Quesada-Rico, and M. SeguíCrespo, “Prevalence of Computer Vision Syndrome and Its Relationship with Ergonomic and Individual Factors in Presbyopic VDT Workers Using Progressive

- Addition Lenses,” *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 17, no. 3, pp. 1–18, 2020, doi: 10.3390/ijerph17031003.
- [64] W. A. M. Sari, B. Suhardi, and I. W. Suletra, “Pengaruh Kondisi Sistem Kerja Terhadap Stress Kerja dengan Menggunakan Macroergonomic Organizational Questionnaire Survey (MOQS),” *J. INTECH Tek. Ind. Univ. Serang Raya*, vol. 7, no. 1, pp. 30–38, 2021, doi: 10.30656/intech.v7i1.2822.
- [65] H. Setiawan *et al.*, “PERANCANGAN ULANG KURSI KERJA TENUN TANJUNG UNTUK MENGURANGI MUSCULOSCELETAL DISORDERS MENGGUNAKAN METODE ANTROPOMETRI DI TOKO INDRA JAYA,” *SAINTEK J. Ilm. Sains dan Teknol. Ind.*, vol. 8, no. 2, pp. 6–14, 2024.
- [66] R. Shah, A. S. A. Doss, and N. Lakshmaiy, “Advancements in AI-enhanced collaborative robotics: towards safer, smarter, and human-centric industrial automation,” *Results Eng.*, vol. 27, no. June, p. 105704, 2025, doi: 10.1016/j.rineng.2025.105704.
- [67] A. Suhendar, A. B. Sinaga, A. Firmansyah, S. Supriyadi, and W. Kusmasari, “Analisis Risiko Musculoskeletal Disorders (MSDs) pada Pekerjaan Pengangkutan Galon Air Mineral,” *J. INTECH Tek. Ind. Univ. Serang Raya*, vol. 9, no. 1, pp. 71–78, 2023, doi: 10.30656/intech.v9i1.5641.
- [68] A. P. Sutarto, N. Izzah, and Z. Farda, “Evaluasi Prevalensi Keluhan Otot Rangka dan Tingkat Produktivitas Subyektif pada Karyawan Marketing Online,” *J. INTECH Tek. Ind. Univ. Serang Raya*, vol. 8, no. 2, pp. 149–160, 2022, doi: 10.30656/intech.v8i2.5011.
- [69] C. Theresia, F. Arrissa, and T. Yogasara, “Perancangan Alat Bantu Pemanenan Ergonomis Untuk Mengurangi Risiko Msds Bagi Petani Sayur Di Kabupaten Bandung Barat,” *J@ti Undip J. Tek. Ind.*, vol. 19, no. 2, pp. 74–87, 2024, doi: 10.14710/jati.19.2.74-87.
- [70] C. Tong, Y. Wang, H. Liu, B. Tong, J. Zhu, and M. Kou, “From risk management to AI-driven safety: A bibliometric review of occupational safety and health research,” *Results Eng.*, vol. 28, no. August, 2025, doi: 10.1016/j.rineng.2025.107440.
- [71] T. P. Trismawati, Saifullah, Haryono, “Penerapan K3 dengan Metode HIRARC (Hazard Identification Risk Assessment and Risk Control) pada Konstruksi Drainase U-Ditch Proyek Tol (Studi Kasus : PT. RST),” *J. SENOPATI*, vol. 5, no. 1, pp. 56–68, 2023.
- [72] A. Turseno, A. Apriyani, A. Y. Pribadi, O. W. Nugroho, and T. M. Lestari, “Perancangan sistem informasi manajemen untuk pengawasan kinerja K3 pada proyek konstruksi,” *JENIUS J. Terap. Tek. Ind.*, vol. 6, no. 2, pp. 389–404, 2025, doi: 10.37373/jenius.v6i2.1983.
- [73] M. Wicaksono and Lobes Herdiman, “Penilaian Postur Kerja Operator pada Proses Polishing Dies Menggunakan Metode Rapid Entire Body Assessment,” *J. INTECH Tek. Ind. Univ. Serang Raya*, vol. 9, no. 2, pp. 103–109, 2023, doi: 10.30656/intech.v9i2.5693.
- [74] F. Yuamita and C. A. Muladi, “PENGARUH PELATIHAN DAN TINGKAT PENGETAHUAN KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA TERHADAP TINGKAT KEWASPADAAN PEKERJA TAMBANG BAUKSIT,” *J@ti Undip J. Tek. Ind.*, vol. 21, no. 1, pp. 10–16, 2026.
- [75] Yudha Adi Kusuma and Aladdin Hidayatullah Jurjani, “Pendekatan manajemen risiko dalam implementasi job safety analysis untuk pencegahan kecelakaan kerja di PT XYZ,” *JENIUS J. Terap. Tek. Ind.*, vol. 6, no. 1, pp. 36–45, 2025, doi: 10.37373/jenius.v6i1.1550.