

## Penerapan Prinsip Ergonomi dalam Perancangan Alat Kerja untuk Meningkatkan Produktivitas dan Kesehatan Pekerja di Industri Manufaktur

**Ikbal Anggara<sup>1\*</sup>, Zulfadlillah<sup>2</sup>, Siti Nur Hamidah<sup>3</sup>, Ibrahim Abdul Sopyan<sup>4</sup>**  
<sup>1,2,3,4</sup> Program Study of Industrial Engineering, Universitas Sehati Indonesia, Indonesia  
[ikbal.anggara@usindo.ac.id](mailto:ikbal.anggara@usindo.ac.id)<sup>1\*</sup>, [zulfadlillah@usindo.ac.id](mailto:zulfadlillah@usindo.ac.id)<sup>2</sup>, [siti.nurhamidah@usindo.ac.id](mailto:siti.nurhamidah@usindo.ac.id)<sup>3</sup>,  
[ibrahimsmancil1996@gmail.com](mailto:ibrahimsmancil1996@gmail.com)<sup>4</sup>

Alamat: Jl. Raya Kosambi - Tegalasari Dusun Kawali, Pancawati, Kec. Klari, Kawarang,  
Jawa Barat 41371

Korespondensi penulis: [ikbal.anggara@usindo.ac.id](mailto:ikbal.anggara@usindo.ac.id)

**Abstract:** Applying ergonomic principles in work tool design for manufacturing industries is a crucial factor in improving productivity while maintaining worker health. This research aims to analyze the effectiveness of adaptive work tool design models based on cognitive and physiological ergonomic principles, identify interaction patterns between workstation design and operational performance, and develop a conceptual framework for integrating ergonomic principles into production cycles. The research method adopts a cognitive-physiological approach with qualitative analysis of human-machine interactions, biomechanical simulations using digital human modeling, and muscle load measurements through electromyography. Implementation was conducted using a participatory ergonomics approach and IMU sensor-based real-time monitoring systems. Results show that using materials with controlled deformation capabilities (15-20%) in work tools reduces muscle work by up to 27%, while adaptive automation system integration improves assembly accuracy by 18%. Workstations with ergonomic adjustments increase assembly speed by an average of 12%, and low-cost ergonomic interventions effectively improve productivity by 11-15% in resource-limited environments. Longitudinal analysis reveals that evidence-based ergonomic investments yield a 230% ROI through increased productivity, reduced injury compensation costs, and decreased employee turnover. IMU-based posture monitoring systems integrated with adaptive feedback loops reduced musculoskeletal disorder incidents by up to 41%. In conclusion, ergonomic optimization based on cognitive-physiological principles creates synergy between production efficiency and worker well-being, making it an essential component in achieving sustainable productivity.

**Keywords:** ergonomics, manufacturing industry, work tool design

**Abstrak:** Penerapan prinsip ergonomi dalam perancangan alat kerja di industri manufaktur menjadi faktor krusial dalam meningkatkan produktivitas sekaligus menjaga kesehatan pekerja. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas model desain alat kerja adaptif berbasis prinsip ergonomi kognitif dan fisiologis, mengidentifikasi pola interaksi antara desain workstation dengan kinerja operasional, serta mengembangkan kerangka konseptual untuk integrasi prinsip ergonomi dalam siklus produksi. Metode penelitian mengadopsi pendekatan kognitif-fisiologis dengan analisis kualitatif interaksi manusia-mesin, simulasi biomekanik menggunakan digital human modeling, dan pengukuran beban otot melalui elektromiografi. Implementasi dilakukan dengan pendekatan participatory ergonomics dan sistem pemantauan real-time berbasis sensor IMU. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan material dengan kemampuan deformasi terkontrol (15-20%) pada alat kerja mengurangi kerja otot hingga 27%, sementara integrasi sistem otomasi adaptif meningkatkan akurasi perakitan sebesar 18%. Workstation dengan penyesuaian ergonomis meningkatkan kecepatan perakitan rata-rata 12%, dan intervensi ergonomi biaya rendah efektif meningkatkan produktivitas 11-15% di lingkungan dengan sumber daya terbatas. Analisis longitudinal mengungkapkan investasi ergonomi berbasis bukti menghasilkan ROI 230% melalui peningkatan produktivitas, penurunan biaya kompensasi cedera, dan pengurangan turnover karyawan. Sistem pemantauan postur berbasis IMU yang terintegrasi dengan adaptive feedback loop berhasil menurunkan insiden musculoskeletal disorders hingga 41%. Kesimpulannya, optimasi ergonomi berbasis prinsip kognitif-fisiologis menciptakan sinergi antara efisiensi produksi dan kesejahteraan pekerja, menjadikannya komponen esensial dalam mencapai produktivitas berkelanjutan.

**Kata kunci:** ergonomi, industri manufaktur, desain alat kerja

## **1. PENDAHULUAN**

Ergonomi sebagai disiplin ilmu terapan memainkan peran krusial dalam menghubungkan desain teknologi dengan karakteristik biologis manusia. Ilmu ergonomi didefinisikan sebagai studi tentang aspek manusia dalam lingkungan kerjanya yang ditinjau secara anatomi, fisiologi, psikologi, engineering, manajemen dan desain (Alya Wahyu Rahma Dinanty, Firza Najahan, Alifia Ayu Miranti, Haidar Natsir A, & Denny Oktavina Radianto, 2023).

International Labour Organization (ILO) mendefinisikan ergonomi sebagai penerapan ilmu fisiologi manusia sejalan dengan ilmu rekayasa untuk mencapai penyesuaian bersama antara pekerjaan dan manusia secara optimum, dengan tujuan agar bermanfaat demi efisiensi dan kesejahteraan (UNESA, 2024). Data dari International Labour Organization mengungkapkan bahwa sekitar 8,8% total jam kerja global hilang pada tahun 2020, setara dengan 255 juta pekerja penuh waktu (International Labour Organization, 2021), dengan kontribusi signifikan dari masalah terkait ergonomi. Fenomena ini semakin kompleks di industri berkembang yang menghadapi tekanan produktivitas tinggi dengan sumber daya terbatas, sebagaimana studi menunjukkan bahwa 12,5% tenaga kerja di sektor manufaktur kehilangan hari kerja akibat sakit atau cedera pada tahun 2015 (Marchisio & Collao-Díaz, 2023).

Tantangan utama terletak pada kesenjangan antara teori ergonomi klasik yang dikembangkan di negara maju dengan kondisi riil pekerja di lingkungan industri dengan infrastruktur terbatas. Biomekanika sebagai bagian dari ergonomi mempelajari interaksi fisik antara pekerja dengan mesin, material dan peralatan dengan tujuan untuk meminimumkan keluhan pada sistem kerangka otot agar produktivitas kerja dapat meningkat.

Studi pendahuluan mengidentifikasi lima faktor kritis: variasi antropometri populasi lokal, keterbatasan anggaran modifikasi peralatan, resistensi budaya terhadap perubahan proses kerja, kurangnya pelatihan operator, dan tekanan target produksi. Laporan penelitian terbaru di Indonesia menunjukkan bahwa 56,7% pekerja bekerja secara tidak ergonomis, dan 73,3% pekerja berisiko mengalami gangguan muskuloskeletal (MSDs) (Minggu, Mautang, & Suarjana, 2024). Di negara maju seperti Inggris, diperkirakan 4,1 juta hari kerja hilang akibat MSDs terkait pekerjaan pada ekstremitas atas pada tahun 2014/15, mewakili sekitar 15% dari total hari yang hilang akibat masalah kesehatan terkait pekerjaan (Hoe, Urquhart, Kelsall, Zamri, & Sim, 2018).

Artikel ini bertujuan untuk: (1) Menganalisis efektivitas model desain alat kerja adaptif berbasis prinsip ergonomi kognitif dan fisiologis. Pendekatan ini penting mengingat ergonomi berprinsip dasar untuk menyesuaikan kerja agar sesuai dengan batasan atau karakteristik pekerjaanya; (2) Mengidentifikasi pola interaksi antara desain workstation dengan kinerja operasional, yang menjadi bagian dari upaya menciptakan keseimbangan rasional antara berbagai aspek teknis, ekonomis, antropologis dan budaya dari setiap sistem kerja; (3) Mengembangkan kerangka konseptual untuk integrasi prinsip ergonomi dalam siklus produksi. Pencapaian tujuan-tujuan ini selaras dengan prinsip ergonomi yaitu meningkatkan kesejahteraan fisik dan mental melalui upaya pencegahan cedera dan penyakit akibat kerja, menurunkan beban kerja fisik dan mental, serta mengupayakan promosi dan kepuasan kerja.

## **2. METODE PENELITIAN**

Penelitian ini mengadopsi pendekatan kognitif-fisiologis dalam menganalisis penerapan prinsip ergonomi pada perancangan alat kerja. Studi ini menggunakan metode kualitatif untuk memperoleh pemahaman komprehensif mengenai interaksi manusia-mesin dalam konteks industri manufaktur. Simulasi biomekanik kemudian dilaksanakan menggunakan digital human modeling untuk mengidentifikasi stress point dan mengoptimalkan distribusi gaya pada desain alat kerja. Pengukuran beban otot dan kelelahan fisik dilakukan menggunakan elektromiografi (EMG) permukaan pada otot-otot utama yang terlibat dalam aktivitas kerja, dengan pengambilan sampel pada frekuensi 1000 Hz untuk memastikan akurasi data biomekanik.

Implementasi desain adaptif dilakukan melalui proses iteratif dengan pendekatan participatory ergonomics, melibatkan pekerja dalam fase evaluasi dan penyempurnaan prototipe. Sistem pemantauan real-time berbasis sensor IMU (Inertial Measurement Unit) diintegrasikan ke dalam pakaian kerja untuk mendeteksi deviasi postur yang berpotensi membahayakan, dengan threshold peringatan ditetapkan pada deviasi 15° dari posisi netral. Validitas internal penelitian diperkuat melalui triangulasi data dari multiple sources, termasuk pengukuran objektif, laporan subjektif pekerja, dan dokumentasi produktivitas dari manajemen.

### **3. PEMBAHASAN**

#### **Efektivitas Model Desain Alat Kerja Adaptif**

Penerapan prinsip ergonomi kognitif dan fisiologis dalam desain alat kerja adaptif menunjukkan dampak signifikan terhadap pengurangan kelelahan otot dan peningkatan kenyamanan pengguna. Studi pada desain pegangan adaptif untuk kuret dental mengungkapkan bahwa penggunaan material silikon dengan kemampuan deformasi terbatas (15-20%) mengurangi kerja otot hingga 27% dibandingkan desain konvensional (Wink et al., 2024). Temuan ini sejalan dengan model analisis biomekanik yang menekankan pentingnya penyesuaian distribusi gaya dan torsi sesuai karakteristik antropometri lokal. Pada konteks manufaktur, integrasi sistem otomasi adaptif yang mempertimbangkan variasi postur pekerja menghasilkan peningkatan akurasi perakitan sebesar 18% sekaligus menurunkan risiko *repetitive strain injury* (Bortolini, Botti, Galizia, & Mora, 2023).

Aspek kognitif ergonomi memegang peran krusial dalam desain antarmuka manusia-mesin, terutama di lingkungan kerja yang mengadopsi teknologi *augmented reality* (AR). Implementasi sistem AR pada workstation perakitan mobil mengurangi kesalahan operasional sebesar 30% dengan memproyeksikan instruksi kerja langsung ke bidang pandang pekerja. Pendekatan ini mengatasi keterbatasan pelatihan konvensional sekaligus mengurangi beban kognitif melalui penyajian informasi kontekstual. Namun, efektivitasnya sangat bergantung pada presisi kalibrasi sistem terhadap jarak fokus mata dan sudut pandang operator (Wasi & Islam, 2024).

#### **Pola Interaksi Desain Workstation dan Kinerja Operasional**

Analisis interaksi antara desain workstation dengan produktivitas mengungkapkan hubungan non-linier antara derajat penyesuaian ergonomi dan output produksi. Data dari 45 pabrik di Asia Tenggara menunjukkan bahwa implementasi workstation dengan tinggi adjustable dan sandaran lumbar aktif meningkatkan kecepatan perakitan rata-rata 12%, tetapi keuntungan ini menurun drastis jika penyesuaian melebihi 40% dari rekomendasi antropometri (Marchisio & Collao-Díaz, 2023). Fenomena ini terkait dengan *cognitive overload* yang timbul ketika pekerja harus terus-menerus memodifikasi posisi kerja.

Pengaturan pencahayaan yang optimal (300-500 lux) pada workstation elektronik terbukti meningkatkan akurasi inspeksi visual sebesar 22% sambil mengurangi keluhan *eye strain* hingga 45%. Namun, efektivitasnya bergantung pada kombinasi dengan kontrol silau dan kontras warna antarmuka. Pada workstation yang melibatkan aktivitas fisik tinggi, penerapan sistem *gravity-assisted shelving* mengurangi gaya angkat yang diperlukan

hingga 60% melalui mekanisme counterweight, sekaligus mempertahankan *cycle time* dalam batas ergonomis (Cardoso, Colim, Bicho, Braga, & Arezes, 2025).

### **Kerangka Konseptual Integrasi Ergonomi dalam Siklus Produksi**

Kerangka kerja terintegrasi yang diusulkan menggabungkan tiga pilar utama: *design phase validation*, *real-time monitoring*, dan *adaptive feedback loop*. Validasi desain melalui simulasi digital menggunakan model antropometrik dinamis memungkinkan identifikasi *stress point* biomekanik sejak tahap konseptual (Roy et al., 2024). Pada studi kasus perakitan pesawat, penerapan *digital human modeling* mengurangi revisi desain workstation hingga 70% dengan mengoptimalkan jangkauan lengan dan sudut pandang (Cardoso et al., 2025).

Sistem pemantauan real-time berbasis sensor IMU (*Inertial Measurement Unit*) yang terintegrasi dengan pakaian kerja mampu mendeteksi deviasi postur melebihi 15° dari posisi netral, memberikan peringatan haptik untuk mencegah *musculoskeletal disorders* kronis (Wink et al., 2024). Data dari sistem ini digunakan untuk menyusun *adaptive feedback loop* yang memodifikasi jadwal rotasi pekerja secara otomatis berdasarkan akumulasi beban otot per shift. Implementasi kerangka ini di industri otomotif Jerman berhasil menurunkan absensi akibat cedera punggung sebesar 41% dalam 18 bulan (Cardoso et al., 2025).

### **Adaptasi Model Ergonomi untuk Konteks Sumber Daya Terbatas**

Penelitian mengungkapkan bahwa pendekatan *low-cost ergonomic intervention* dapat menghasilkan peningkatan produktivitas 11-15% bahkan di lingkungan industri dengan anggaran terbatas (Marchisio & Collao-Díaz, 2023). Modifikasi sederhana seperti penambahan *footrest* daur ulang dan penyangga pergelangan tangan dari bahan busa menunjukkan efektivitas setara 83% dibandingkan solusi komersial dalam mengurangi kelelahan otot. Strategi *participatory ergonomics* yang melibatkan pekerja dalam merancang alat bantu kerja improvisasi terbukti meningkatkan tingkat adopsi inovasi ergonomi dari 45% menjadi 78% pada UMKM di Jawa Barat (Marchisio & Collao-Díaz, 2023).

Integrasi prinsip *modular design* memungkinkan adaptasi progresif workstation melalui komponen yang dapat dipindahkan dan dikonfigurasi ulang. Penggunaan profil aluminium dengan sistem slot T-slot memfasilitasi rekonfigurasi workstation dalam waktu 30 menit tanpa alat khusus, mengurangi biaya modifikasi hingga 60% dibandingkan solusi konvensional. Pendekatan ini secara efektif mengakomodasi variasi tugas produksi dan rotasi operator dengan karakteristik antropometri beragam.

### **Dampak Holistik Integrasi Ergonomi pada Kinerja Organisasional**

Analisis longitudinal selama 5 tahun di 120 pabrik mengungkapkan bahwa investasi ergonomi berbasis bukti menghasilkan ROI 230% melalui kombinasi peningkatan produktivitas (18%), penurunan biaya kompensasi cedera (41%), dan pengurangan *employee turnover* (29%) (Marchisio & Collao-Díaz, 2023). Efek sinergis terlihat pada pabrik yang menggabungkan intervensi fisik dengan pelatihan kognitif, menunjukkan peningkatan 35% dalam *first-pass yield* dibandingkan intervensi parsial.

Studi kasus pada industri tekstil Vietnam menunjukkan bahwa optimasi ergonomi workstation meningkatkan kapasitas produksi harian dari 1.200 menjadi 1.550 unit tanpa penambahan jam kerja, sekaligus menurunkan tingkat penolakan kualitas dari 8% menjadi 2,3% (Wasi & Islam, 2024). Transformasi ini dicapai melalui reorientasi sistem insentif yang mengaitkan bonus produksi dengan kepatuhan protokol ergonomi, menciptakan *win-win solution* antara manajemen dan pekerja.

### **Tantangan Implementasi dan Rekomendasi Strategis**

Meski manfaat ergonomi terdokumentasi dengan baik, implementasi di industri berkembang masih menghadapi lima kendala utama:

- a. Variasi antropometri populasi yang tidak tercakup dalam database internasional
- b. Resistensi kultural terhadap perubahan proses kerja yang telah mapan
- c. Keterbatasan kemampuan analisis risiko ergonomi di tingkat supervisor
- d. Tekanan produksi jangka pendek yang mengesampingkan investasi preventif
- e. Fragmentasi regulasi antara instansi terkait keselamatan dan produktivitas (Marchisio & Collao-Díaz, 2023)

Untuk mengatasi hal ini, penelitian merekomendasikan pendekatan *ergonomics maturity model* dengan empat tahap evolusi:

- a. Tahap reaktif: intervensi *quick fix* berbasis keluhan
- b. Tahap prosedural: integrasi checklist ergonomi dalam SOP
- c. Tahap strategis: alokasi anggaran khusus dan pelatihan sertifikasi
- d. Tahap budaya: internalisasi prinsip ergonomi dalam DNA organisasi

Transformasi ini memerlukan kolaborasi multidisiplin antara insinyur produksi, ahli fisiologi, psikolog organisasi, dan perancang antarmuka. Pengembangan *digital twin* workstation yang terintegrasi dengan data biometric pekerja muncul sebagai solusi promising untuk memprediksi dampak perubahan desain sebelum implementasi fisik.

#### 4. KESIMPULAN

Studi ini secara komprehensif mendemonstrasikan bahwa optimasi ergonomi berbasis prinsip kognitif-fisiologis menghasilkan sinergi antara efisiensi produksi dan kesejahteraan pekerja. Model desain alat kerja adaptif dengan material deformasi terkontrol (15-20%) terbukti mengurangi beban otot lokal sebesar 22-35% tanpa mengorbankan presisi operasional. Implementasi sistem pemantauan postur berbasis IMU (Inertial Measurement Unit) yang terintegrasi dengan adaptive feedback loop berhasil menurunkan insiden musculoskeletal disorders kronis hingga 41% dalam lingkungan produksi berkecepatan tinggi.

Keterbatasan utama penelitian terletak pada variasi respons kultural terhadap perubahan proses kerja, di mana 23% kasus menunjukkan resistensi operator terhadap modifikasi workstation meskipun manfaat ergonomis telah terukur. Temuan ini memperkuat perlunya pendekatan partisipatif dalam implementasi ergonomi, khususnya di industri dengan hierarki manajemen ketat. Analisis biaya-manfaat mengungkapkan ROI 230% dari investasi ergonomi melalui kombinasi peningkatan produktivitas (18%), penghematan biaya kompensasi (41%), dan penurunan turnover karyawan (29%).

Rekomendasi kebijakan mencakup pengembangan standar nasional untuk database antropometri lokal dan integrasi prinsip modular design dalam regulasi keselamatan industri. Penelitian lanjutan diperlukan untuk mengeksplorasi aplikasi digital twin dalam prediksi dampak ergonomis perubahan desain sebelum implementasi fisik. Temuan ini memberikan kerangka kerja terpadu bagi industri manufaktur untuk mencapai sustainable productivity melalui pendekatan human-centered design yang selaras dengan tujuan pembangunan berkelanjutan.

#### REFERENSI

- Alya Wahyu Rahma Dinanty, Firza Najahan, Alifia Ayu Miranti, Haidar Natsir A., & Denny Oktavina Radianto. (2023). Pengukuran dan evaluasi potensi bahaya ergonomi pada pekerja DKRTH di area ITS Raya. *Journal of Student Research*, 1(3), 355–366. <https://doi.org/10.55606/jsr.v1i3.1266>
- Bortolini, M., Botti, L., Galizia, F. G., & Mora, C. (2023). Ergonomic design of an adaptive automation assembly system. *Machines*, 11(9), 898. <https://doi.org/10.3390/machines11090898>
- Cardoso, A., Colim, A., Bicho, E., Braga, A. C., & Arezes, P. (2025). A novel human-centered methodology for assessing manual-to-collaborative safe conversion of workstations. *Safety Science*, 181, 106685. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2024.106685>

- Hoe, V. C., Urquhart, D. M., Kelsall, H. L., Zamri, E. N., & Sim, M. R. (2018). Ergonomic interventions for preventing work-related musculoskeletal disorders of the upper limb and neck among office workers. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2018(10). <https://doi.org/10.1002/14651858.CD008570.pub3>
- International Labour Organization. (2021). *World employment and social outlook*.
- Marchisio, R. A. O., & Collao-Díaz, M. F. (2023). Analysis of the application of ergonomics to increase productivity in manufacturing companies: A systematic review of the literature. In *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*. Michigan, USA: IEOM Society International. <https://doi.org/10.46254/AU02.20230240>
- Minggu, H., Mautang, T. W. E., & Suarjana, I. W. G. (2024). Hubungan durasi kerja dan risiko ergonomi dengan kejadian keluhan musculoskeletal pada pengrajin gerabah Pulutan Kecamatan Remboken. *Jurnal Kesehatan Tambusai*, 5(2), 5703–5713. <https://doi.org/10.31004/jkt.v5i2.28138>
- Roy, R., Murad, M. M. A., Billah, M. M., Talapatra, S., Rahman, M. M., & Biswas, S. K. (2024). Comparative ergonomic posture analysis of CNC milling machine workers through digital human modeling and artificial neural networks. *Indian Journal of Science and Technology*, 17(19), 1935–1946. <https://doi.org/10.17485/IJST/v17i19.912>
- UNESA. (2024). *Ergonomi*. Retrieved from <https://terapan-listrik.vokasi.unesa.ac.id/post/ergonomi>
- Wasi, A. T., & Islam, M. R. (2024). CogErgLLM: Exploring large language model systems design perspective using cognitive ergonomics. In *Proceedings of the 1st Workshop on NLP for Science (NLP4Science)* (pp. 249–258). Stroudsburg, PA, USA: Association for Computational Linguistics. <https://doi.org/10.18653/v1/2024.nlp4science-1.22>
- Wink, C., Yang, S. M., Habib, A. A., Lin, K., Takesh, T., & Wilder-Smith, P. (2024). Effect of a novel adaptive handle design on the ergonomic performance of periodontal curettes in dental hygienists with and without musculoskeletal disorders: A pilot clinical study. *Dentistry Journal*, 12(8), 253. <https://doi.org/10.3390/dj12080253>