

# Analisis Dampak Otomasi Industri terhadap Efisiensi Operasional dan Optimasi Konsumsi Energi

Resa Pramudita<sup>1</sup>, Muhammad Adzi Putra Rammadhan<sup>2</sup>, Muhammad Rama Ashari<sup>3</sup>, Raditya Arya Nafisa<sup>4</sup>,  
Dita Nur Rahmawati<sup>5</sup>

Pendidikan Teknik Otomasi Industri dan Robotika<sup>1,2,3,4,5</sup>  
Universitas Pendidikan Indonesia  
Jl. Dr Setiabudi No. 229, Kota Bandung  
resa.pd@upi.edu

## Abstrak

Studi ini mengkaji dampak penerapan otomasi industri dan kemajuan teknologi, termasuk kecerdasan buatan, robotika, dan *Internet of Things (IoT)*, terhadap efisiensi kerja, pengelolaan sumber daya, serta kebutuhan tenaga kerja di Era Industri 4.0. Analisis menunjukkan bahwa otomasi mampu meningkatkan produktivitas hingga 30%, mengurangi limbah material, dan mendukung upaya keberlanjutan dengan memanfaatkan energi terbarukan. Di sisi lain, penggantian pekerjaan manual oleh teknologi menimbulkan tantangan baru terkait kebutuhan keterampilan yang berbeda. Ini mengharuskan pihak terkait, seperti institusi pendidikan dan sektor industri, untuk fokus pada pendidikan dan pelatihan yang relevan. Solusi strategis diusulkan melalui integrasi kurikulum berbasis *STEM (Science Technical Engineering Mathematics)* serta program pelatihan ulang (*reskilling*) dan peningkatan keterampilan (*upskilling*) untuk mempersiapkan tenaga kerja menghadapi perubahan ini. Lebih lanjut, penelitian ini menyoroti kontribusi otomasi dalam menciptakan sistem produksi yang lebih ramah lingkungan melalui optimalisasi penggunaan energi dan pengelolaan limbah yang lebih efektif. Kerja sama antara pemerintah, dunia usaha, dan lembaga pendidikan sangat penting dalam mendukung proses otomatisasi ini. Upaya bersama tersebut tidak hanya berpotensi meningkatkan efisiensi dan produktivitas, tetapi juga menciptakan peluang baru di sektor teknologi, menjadikan penerapan teknologi dan penguatan kapasitas sumber daya manusia sebagai kunci untuk menghadapi tantangan dan memanfaatkan peluang di Era Revolusi Industri 4.0. Dengan demikian, investasi dalam peningkatan keterampilan dan adopsi teknologi baru menjadi sangat penting untuk stabilitas dan pertumbuhan ekonomi di masa depan.

Kata kunci: Otomasi Industri, Efisiensi energi, Produktifitas Kerja

## Abstract

*This study examines the impact of the implementation of industrial automation and technological advances, including Artificial Intelligence (AI), robotics, and the Internet of Things (IoT), on work efficiency, resource management, and labor needs in the era of Industry 4.0. The analysis shows that automation can increase productivity by up to 30%, reduce material waste, and support sustainability efforts by utilizing renewable energy. On the other hand, the replacement of manual jobs by technology creates new challenges related to different skill requirements. This necessitates stakeholders, such as educational institutions and the industrial sector, to focus on relevant education and training. Strategic solutions are proposed through the integration of STEM-based curricula and retraining (reskilling) and upskilling programs to prepare the workforce for these changes. Furthermore, this research highlights the contribution of automation in creating more environmentally friendly production systems through optimization of energy use and more effective waste management. Collaboration between the government, the business sector, and educational institutions is crucial in supporting this automation process. These collective efforts not only have the potential to enhance efficiency and productivity but also create new opportunities in the technology sector, making the implementation of technology and strengthening human resource capacity key to facing challenges and seizing opportunities in the Era of Industry 4.0. Thus, investment in skill enhancement and the adoption of*

*new technologies becomes vital for stability and economic growth in the future.*

Keywords: *industrial automation, energy efficiency, work productivity*

## I. PENDAHULUAN

Kemajuan teknologi di era *digital* telah memberikan dampak besar, terutama di bidang elektronika dan kontrol. Berbagai perangkat elektronik kini banyak dimanfaatkan sebagai alat otomatis yang mendukung berbagai sektor kehidupan manusia. Salah satu inovasi teknologi yang mendapat perhatian luas adalah kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence/AI*) dan otomasi, yang menghadirkan tantangan sekaligus peluang besar bagi masyarakat global.

Laporan *World Economic Forum* memproyeksikan bahwa hingga 85 juta pekerjaan berpotensi tergantikan oleh *AI* pada tahun 2025, menandai dampak signifikan dari teknologi ini terhadap pasar tenaga kerja global. Kemampuan *AI* dalam menyelesaikan tugas-tugas tertentu sering kali menyamai atau bahkan melampaui kinerja manusia. Tokoh terkemuka, seperti Elon Musk, juga telah mengemukakan kekhawatiran bahwa perkembangan *AI* dapat menciptakan era di mana pekerjaan manusia menjadi tidak lagi relevan. Pandangan ini menegaskan perlunya antisipasi terhadap dampak besar *AI* pada tatanan sosial dan ekonomi.

Selain *AI*, otomasi industri menjadi elemen penting dalam transformasi teknologi, terutama dalam konteks Era Industri 4.0, otomasi industri merujuk pada penerapan sistem yang didukung oleh teknologi mutakhir, seperti robotik, sensor, kecerdasan buatan, dan perangkat lunak, untuk menjalankan proses produksi secara otomatis dengan intervensi manusia yang minimal. Teknologi ini telah mendorong efisiensi operasional secara signifikan, sehingga banyak industri, terutama di sektor manufaktur, beralih dari metode konvensional ke sistem berbasis otomasi.

Penerapan otomasi tidak hanya berfokus pada peningkatan produktivitas tetapi juga penghematan energi, yang menjadi isu penting di tengah krisis energi global dan tuntutan pengurangan dampak lingkungan. Otomasi memungkinkan optimalisasi penggunaan energi dengan mengurangi pemborosan, meningkatkan presisi, dan meminimalkan waktu henti (*downtime*) dalam proses produksi.

Namun, di balik berbagai manfaat tersebut, muncul kekhawatiran tentang dampaknya terhadap tenaga kerja manusia. Banyak pekerjaan, khususnya di sektor manufaktur dan administrasi, berisiko tergantikan oleh sistem otomatis. Hal ini menimbulkan tantangan besar bagi pemerintah, sektor pendidikan, dan industri dalam mempersiapkan sumber daya manusia yang mampu beradaptasi dengan perubahan. Kurikulum pendidikan harus disesuaikan untuk mengembangkan keterampilan abad ke-21, sedangkan perusahaan perlu meningkatkan kompetensi tenaga kerjanya melalui pelatihan yang relevan.

Dengan mempertimbangkan perkembangan tersebut, diperlukan analisis yang komprehensif mengenai kontribusi *AI* dan otomasi dalam meningkatkan efisiensi operasional serta penghematan energi. Selain itu, penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengidentifikasi teknologi otomasi yang paling efektif dalam menciptakan sistem produksi yang ramah lingkungan dan bagaimana hal ini memengaruhi kebutuhan tenaga kerja di masa depan. Analisis ini diharapkan dapat menjadi landasan dalam menyesuaikan strategi pendidikan dan kebijakan sumber daya manusia untuk menghadapi perubahan yang terjadi di era Revolusi Industri 4.0.

## II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode tinjauan pustaka, yaitu pendekatan terstruktur yang bertujuan untuk menemukan, menilai, dan mengkaji hasil-hasil penelitian yang berkaitan dengan topik otomasi industri, peningkatan efisiensi kerja, serta penghematan energi. Metode ini dilakukan untuk menyusun sintesis temuan yang mendalam dan berbasis bukti.

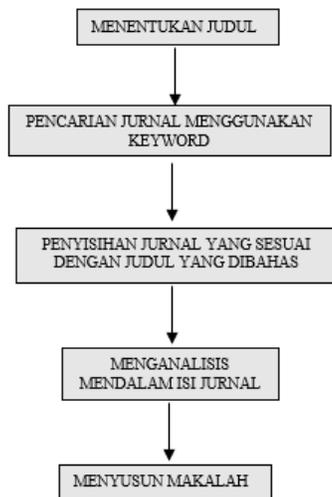
Proses penelitian dimulai dengan menentukan topik dan kata kunci pencarian, seperti *industrial automation, energy efficiency, dan work productivity*. Artikel ilmiah diperoleh dari *database* terpercaya seperti *Google Scholar*. Seleksi literatur dilakukan dengan mempertimbangkan relevansi dan kualitas guna memastikan validitas data.

Literatur terpilih dianalisis secara tematik untuk mengeksplorasi hubungan antar temuan, kontribusi penelitian, serta mengidentifikasi kelemahan dan kesenjangan penelitian. Fokus utama analisis meliputi dampak otomasi terhadap efisiensi operasional dan kontribusinya dalam optimalisasi energi serta keberlanjutan lingkungan.

Penelitian ini menggunakan setidaknya 20 artikel sebagai referensi utama untuk menjamin kualitas analisis. Temuan penelitian dirangkum dalam artikel ini untuk memberikan wawasan komprehensif dan rekomendasi implementasi otomasi industri yang efektif.

Metode tinjauan pustaka yang dipilih dalam penelitian ini memiliki sejumlah kelebihan dan kekurangan. Salah satu kelebihan utamanya adalah kemampuannya untuk mengumpulkan dan menganalisis berbagai hasil penelitian yang relevan, sehingga memberikan gambaran komprehensif mengenai topik otomasi industri dan efisiensi kerja. Metode ini memungkinkan peneliti untuk mengidentifikasi tren, pola, dan hubungan yang mungkin tidak terlihat dalam studi tunggal, serta memberikan dasar teori yang kuat untuk rekomendasi yang dihasilkan. Namun, metode ini juga memiliki beberapa kekurangan, di antaranya adalah ketergantungan pada ketersediaan dan kualitas literatur yang ada, yang mungkin tidak mencakup semua aspek terkini dari topik tersebut. Selain itu, seleksi artikel berdasarkan relevansi dan kualitas dapat bersifat subjektif dan mungkin mengabaikan beberapa penelitian penting yang menggunakan metodologi atau pendekatan yang berbeda. Meskipun demikian, dengan menggunakan kriteria seleksi yang ketat, penelitian ini berusaha meminimalkan kelemahan tersebut dan memberikan hasil yang lebih akurat serta berwawasan.

Gambaran Proses Penelitian yang dilakukan pada penelitian ini digambarkan oleh Gambar 1.



**Gambar 1. Deskripsi Alur Penelitian yang dilakukan**

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### III.1 Peningkatan Efisiensi dengan Bantuan Artificial Intelligence (AI)

Kecerdasan Buatan (*Artificial Intelligence/AI*) telah memberikan dampak besar pada berbagai aspek kehidupan manusia, khususnya dalam meningkatkan efisiensi kerja dan kualitas hidup. *AI* mengacu pada kemampuan mesin untuk meniru fungsi kecerdasan manusia, seperti pembelajaran, pemecahan masalah, dan pengambilan keputusan. Penerapan *AI* telah berkembang di berbagai bidang, termasuk kesehatan, transportasi, keuangan, manufaktur, pendidikan, dan pertanian, dengan tujuan meningkatkan produktivitas dan efisiensi operasional (Meilinda, Nafil, & Jatmiko, 2023; Masrichah, 2023).

Dalam sektor kesehatan, kecerdasan buatan dimanfaatkan untuk membantu dokter dalam mendiagnosis penyakit dengan lebih cepat dan tepat, yang pada gilirannya meningkatkan kualitas pelayanan kesehatan. Di sektor transportasi, *AI* berkontribusi pada pengurangan kecelakaan lalu lintas dengan mengotomasi kendaraan dan memanfaatkan analisis data untuk meningkatkan efisiensi lalu lintas. Di sektor keuangan, teknologi chatbot berbasis *AI* memungkinkan pemberian layanan nasabah selama 24 jam, mempercepat proses transaksi, dan meningkatkan aksesibilitas (Salsabila, Indrawati, & Fitri, 2023; Pratama et al., 2023).

Di samping itu, *AI* juga berfungsi secara krusial dalam bidang industri manufaktur, seperti mendeteksi cacat produksi dengan akurasi tinggi dan mengurangi pemborosan. Dalam dunia pendidikan, *AI* memberikan pengalaman pembelajaran yang lebih personal dengan menyesuaikan materi sesuai kebutuhan siswa, sehingga meningkatkan efektivitas pembelajaran (Ulimaz et al., 2023). Di sektor pertanian, *AI* membantu memantau kondisi tanaman dan mengoptimalkan penggunaan pupuk dan air, sehingga mendukung pertanian yang lebih berkelanjutan (Meilinda et al., 2023).

*AI* juga berperan penting dalam manajemen sumber daya manusia (SDM). Dengan kemampuan otomatisasi, *AI* mampu menyederhanakan proses rekrutmen dan evaluasi kinerja, yang sebelumnya memakan waktu dan sumber daya besar (Sudaryanto & Hanny, 2023). Selain itu, *AI* memfasilitasi pengambilan keputusan dengan memproses data dalam jumlah besar dan memberikan rekomendasi berdasarkan analisis yang akurat, memungkinkan

keputusan strategis dapat dibuat dengan lebih efisien (Salsabila et al., 2023).

Pemanfaatan *AI* secara bijak memiliki potensi besar dalam menyelesaikan berbagai permasalahan manusia, baik di sektor pendidikan, kesehatan, keuangan, maupun pengelolaan SDM. Dengan pendekatan yang bertanggung jawab, *AI* dapat menjadi solusi untuk menghadapi tantangan era *digital* sekaligus menciptakan peluang baru untuk pembangunan berkelanjutan.

### **III.2 Pengaruh Otomasi Industri terhadap Efisiensi Kerja**

Otomasi industri telah memberikan dampak signifikan terhadap efisiensi kerja di berbagai sektor. Teknologi ini mengintegrasikan sistem mekanik, elektronik, serta perangkat lunak yang digunakan untuk mengotomatiskan proses produksi dengan minimal atau tanpa intervensi manusia (Ibnu, Topik, Ridwan, Hamid, & Ananda, 2022). Otomasi mencakup berbagai tingkatan, mulai dari aplikasi sederhana seperti conveyor belt hingga teknologi canggih berbasis robotika dan kecerdasan buatan (Eliza, Lin Yan Che, Niella, & Ade, 2021). Sasaran utama dari implementasi otomatisasi adalah untuk meningkatkan efisiensi dalam operasi, mengurangi biaya produksi, memastikan kualitas produk tetap terjaga, serta menciptakan lingkungan kerja yang lebih aman. Dengan otomatisasi, perusahaan dapat meningkatkan produktivitas dan bersaing lebih efektif di pasar global (Arya, Suci, Maila, Badwi, & Isa, 2023).

Salah satu dampak utama dari penerapan otomasi adalah pengurangan kesalahan manusia dalam proses produksi. Dengan penggunaan sistem otomatis seperti Cloud SCADA, proses produksi dapat dikendalikan dengan lebih akurat, sehingga mengurangi potensi kesalahan akibat faktor manusia (Iradiratu, Istiyo, Daeng, Belly Yan, & Tri, 2024). Selain itu, otomasi menyediakan data secara *real-time* yang memungkinkan pengambilan keputusan berbasis data menjadi lebih cepat dan akurat. Ini tidak hanya meningkatkan efisiensi operasional, tetapi juga mendukung strategi bisnis yang lebih responsif terhadap perubahan di pasar (Arya et al., 2023).

Kecepatan produksi juga meningkat secara signifikan dengan penerapan teknologi otomasi, karena mesin dan sistem dapat bekerja lebih cepat dibandingkan dengan tenaga kerja manual. Otomasi memungkinkan pengurangan waktu siklus produksi, sehingga meningkatkan throughput dan efisiensi kerja

(Iradiratu et al., 2024). Selain itu, sistem otomatis juga mampu memantau kondisi mesin secara *real-time*, mendukung pemeliharaan prediktif yang dapat mengurangi waktu henti dan menekan biaya perbaikan. Optimalisasi penggunaan sumber daya, seperti bahan baku dan energi, menjadi salah satu kontribusi utama otomasi dalam membantu perusahaan mengurangi pemborosan dan meningkatkan profitabilitas (Iradiratu et al., 2024).

Otomasi juga berperan penting dalam menjaga konsistensi kualitas produk. Proses produksi yang *dIoT*omatisasi memastikan standar kualitas dapat terpenuhi tanpa adanya variasi akibat kesalahan manusia (Iradiratu et al., 2024). Lebih lanjut, penerapan otomasi memungkinkan pengalihan tenaga kerja dari tugas-tugas rutin ke pekerjaan yang lebih strategis dan memiliki nilai tambahan, sehingga dapat meningkatkan produktivitas total tenaga kerja (Ningsih, 2024).

Pada era Revolusi Industri 4.0, otomatisasi industri menjadi salah satu elemen kunci untuk keberhasilan perusahaan dalam mempertahankan daya saing. Teknologi ini tidak hanya memperbaiki efisiensi kerja, tetapi juga mengubah proses produksi, distribusi, dan pemasaran menjadi lebih cepat, akurat, dan lebih hemat biaya. Kontribusi ini berdampak langsung pada pengurangan biaya operasional dan peningkatan output, menjadikan otomasi elemen penting dalam transformasi industri modern (Ningsih, 2024).

### **III.3 Teknologi Otomasi yang Berpengaruh dalam Mengurangi Konsumsi Energi di Sektor Industri**

Teknologi otomasi, termasuk robot industri dan sistem berbasis *IoT*, telah menjadi solusi utama dalam upaya penghematan energi di sektor industri. Dengan memanfaatkan mesin, sistem kontrol, dan teknologi informasi, otomasi memungkinkan proses kerja dijalankan secara otomatis, menggantikan tugas manusia yang bersifat repetitif. Keunggulan utama otomasi adalah kemampuannya untuk mengoptimalkan penggunaan energi, mengurangi pemborosan, dan meningkatkan efisiensi operasional (Huda & Pudjiarti, 2024).

Robot industri memiliki peran penting dalam meningkatkan efisiensi energi. Pemilihan komponen hemat energi seperti motor, penggerak, dan pengontrol dapat mengurangi konsumsi daya secara signifikan. Selain itu, perawatan rutin memastikan performa robot tetap optimal, memperpanjang umur perangkat, dan

mendukung penghematan energi jangka panjang. Di tingkat global, robot industri terbukti mampu menekan intensitas energi dalam proses manufaktur, terutama di negara-negara dengan tingkat adopsi teknologi robotika yang tinggi (Soori, Arezoo, & Dastres, 2023; Wang, Lee, & Li, 2022).

*IoT* semakin memperkuat efisiensi energi dalam otomasi dengan menyediakan pemantauan *real-time* terhadap konsumsi daya. Teknologi ini memungkinkan pengendalian proses yang lebih presisi, mengurangi waktu idle mesin, dan menyesuaikan kebutuhan energi sesuai kondisi operasional. Hasilnya, energi dapat digunakan secara lebih efisien, mendukung penghematan biaya, dan mengurangi dampak lingkungan (Prawiyogi & Anwar, 2023).

Inovasi teknologi dalam era Industri 4.0, seperti algoritma perangkat lunak yang efisien dan desain perangkat hemat energi, juga berkontribusi besar terhadap penghematan energi. Teknologi ini tidak hanya menekan biaya operasional tetapi juga membantu mengurangi jejak karbon, mendukung keberlanjutan, dan meningkatkan daya saing industri (Chen, Sinha, Hu, & Shah, 2021). Dengan kombinasi teknologi otomasi dan manajemen energi yang cerdas, industri dapat mencapai efisiensi operasional yang lebih tinggi sekaligus mendukung transisi menuju manufaktur ramah lingkungan.

#### **III.4 Peran Otomasi Industri dalam Membangun Sistem Produksi yang Ramah Lingkungan**

Otomasi industri berperan penting dalam menciptakan sistem produksi yang ramah lingkungan. Teknologi ini menggantikan proses manual dengan sistem otomatis berbasis mekanik, elektronik, dan komputerisasi yang lebih efisien. Dalam industri manufaktur, otomasi mendukung peningkatan presisi proses produksi, sehingga mengurangi limbah material dan mendukung keberlanjutan lingkungan (Hariz, Purwanto, & Suherman, 2018). Dengan pengendalian aliran bahan baku yang presisi, penggunaan material menjadi lebih optimal, membantu menekan limbah dan biaya produksi.

Pengelolaan limbah industri merupakan aspek krusial dalam mencegah pencemaran lingkungan. Limbah yang dihasilkan tidak hanya berdampak pada proses produksi tetapi juga ekosistem secara keseluruhan. Oleh karena itu, pengelolaan limbah harus dilakukan secara komprehensif, mulai dari pencegahan hingga daur ulang, untuk mengurangi dampak lingkungan yang merugikan (Nursidiq, Hadi,

Lubis, & Riza, 2021). Sistem otomasi memungkinkan pemantauan *real-time* terhadap penggunaan bahan baku dan energi, sehingga pemborosan dapat dicegah sejak tahap awal (Emilia, 2023).

Selain itu, pemanfaatan energi alternatif seperti energi matahari semakin mendukung keberlanjutan industri. Energi matahari merupakan sumber energi yang bersih, efisien, dan ramah lingkungan. Padsuan antara teknologi otomasi dan energi matahari berkontribusi dalam mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil serta mendukung efisiensi energi dalam proses produksi (Manan, 2009). Sistem kendali otomatis juga berkontribusi dengan menyesuaikan penggunaan energi berdasarkan kebutuhan operasional, sehingga konsumsi energi yang tidak diperlukan dapat ditekan (Nasir, Saputro, & Handayani, 2015).

Otomasi tidak hanya mengoptimalkan penggunaan bahan baku dan energi tetapi juga mempermudah proses daur ulang limbah industri. Dengan teknologi sensor dan pemantauan otomatis, pengelolaan limbah dapat dilakukan lebih efisien, mendukung upaya keberlanjutan, dan mengurangi jejak karbon. Langkah ini menjadikan otomasi sebagai kunci dalam menciptakan sistem produksi yang ramah lingkungan, meningkatkan efisiensi operasional, serta menjaga keseimbangan ekosistem untuk generasi mendatang.

#### **III.5 Kebutuhan Tenaga Kerja Manusia dalam Perkembangan Otomasi di Industri**

Revolusi Industri 4.0 menghadirkan transformasi signifikan dalam dunia kerja, berbeda dari revolusi-revolusi sebelumnya. Pada Revolusi Industri 1.0, pekerjaan masih bergantung pada tenaga manusia dan hewan hingga ditemukan alat tenun mekanis berbasis mesin uap pada tahun 1784. Inovasi ini tidak hanya meningkatkan efisiensi produksi, tetapi juga mengurangi kebutuhan akan tenaga kerja manual, yang mengakibatkan peningkatan tingkat pengangguran pada waktu itu (Annisa, 2021).

Kemajuan teknologi saat ini, terutama di bidang kecerdasan buatan dan robotika, semakin menggantikan tugas repetitif manusia. Teknologi robotika telah banyak diadopsi, terutama di negara seperti Jepang yang memimpin dalam penggunaan robot industri. Robot ini diterapkan dalam berbagai sektor, seperti manufaktur dan layanan publik, untuk meningkatkan efisiensi dan produktivitas sambil menekan biaya operasional (Zanofa, 2021). Namun,

otomatisasi ini juga mengurangi kebutuhan tenaga kerja manusia, khususnya pada pekerjaan rutin (Annisa, 2021).

Otomasi secara signifikan meningkatkan efisiensi kerja. Menurut *McKinsey Global Institute*, otomatisasi dapat meningkatkan produktivitas hingga 30% dan mempercepat proses distribusi serta pemasaran. Namun, dampaknya juga mencakup pengurangan jumlah pekerjaan tertentu. Prediksi *World Economic Forum* menunjukkan bahwa pada tahun 2025, sekitar 85 juta pekerjaan diperkirakan akan digantikan oleh teknologi otomatisasi. Meski demikian, 97 juta pekerjaan baru yang berfokus pada teknologi, seperti spesialis keamanan siber, pengembang AI, dan analisis data, akan tercipta. Perubahan ini menuntut tenaga kerja untuk memiliki keterampilan yang relevan dengan era *digital* (Kresnadi & Narendra, 2023).

Pendidikan menjadi solusi utama dalam mempersiapkan tenaga kerja menghadapi perubahan ini. Kurikulum yang berfokus pada *STEM* harus dikembangkan untuk melatih keterampilan berpikir kritis, kreatif, dan kolaboratif. Selain itu, penerapan teknologi seperti *Internet of Things (IoT)* dan analitik data perlu menjadi komponen dalam pembelajaran agar siswa memiliki keterampilan yang sesuai dengan tuntutan pasar kerja saat ini (Dito & Pujiastuti, 2021). Guru juga diharapkan menguasai teknologi pendidikan untuk memastikan proses pembelajaran tetap relevan dengan perkembangan teknologi (Sari, Febrini, & Walid, 2021).

Selain pendidikan formal, program pelatihan ulang (*reskilling*) dan peningkatan keterampilan (*upskilling*) menjadi strategi penting dalam menghadapi dampak otomatisasi. Banyak organisasi menyediakan kursus daring yang berfokus pada keterampilan teknologi baru, seperti pemrograman dan analitik data. Pemerintah juga bekerja sama dengan sektor swasta untuk menciptakan lapangan kerja di bidang teknologi, mendukung transisi tenaga kerja menuju pekerjaan yang lebih relevan (Kresnadi & Narendra, 2023).

Meskipun otomatisasi mengurangi kebutuhan tenaga kerja untuk pekerjaan repetitif, peluang baru muncul di sektor teknologi dan analitik data. Dengan meningkatkan keterampilan dan beradaptasi dengan perubahan, individu dapat meraih peluang kerja yang lebih baik. Kerja sama antara pemerintah, sektor swasta, dan lembaga pendidikan merupakan kunci dalam menghasilkan tenaga kerja yang kompeten dan

siap menghadapi tantangan di era Revolusi Industri 4.0.

#### IV. KESIMPULAN

Otomasi industri serta kemajuan teknologi seperti kecerdasan buatan (AI), robotika, dan *Internet of Things (IoT)* telah memberikan pengaruh signifikan terhadap efisiensi kerja, pengelolaan sumber daya, dan pengurangan dampak lingkungan dalam industri. Teknologi ini memungkinkan proses produksi berlangsung lebih cepat, tepat, dan hemat energi, serta mendukung keberlanjutan dengan mengurangi limbah dan jejak karbon. Dalam era Revolusi Industri 4.0, otomasi telah menggantikan banyak tugas repetitif manusia, meningkatkan produktivitas hingga 30% di berbagai sektor. Namun, perkembangan ini juga menimbulkan tantangan seperti pengurangan jumlah pekerjaan manual dan perlunya tenaga kerja dengan keterampilan baru yang relevan. Oleh karena itu, pengelolaan SDM melalui pelatihan ulang (*reskilling*) dan peningkatan keterampilan (*upskilling*) menjadi prioritas untuk mendukung transisi tenaga kerja ke sektor berbasis teknologi.

Di sisi lain, pendidikan memegang peran penting dalam menyiapkan generasi yang siap menghadapi tantangan teknologi modern. Pengembangan kurikulum berbasis *STEM*, integrasi teknologi seperti *IoT* dan AI, serta pelatihan berbasis kewirausahaan dan *digital* menjadi langkah strategis untuk mencetak SDM yang kompeten. Kerja sama antara pemerintah, sektor swasta, dan lembaga pendidikan sangat penting untuk membangun ekosistem kerja yang mendukung keberlanjutan teknologi dan lingkungan. Dengan strategi yang tepat, otomatisasi industri tidak hanya dapat meningkatkan efisiensi dan produktivitas, tetapi juga menciptakan peluang baru dalam bidang teknologi, menciptakan lapangan kerja inovatif, dan meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan dan sosial.

#### REFERENSI

- Amalia, A. (2021). Sejarah revolusi industri dari 1.0 sampai 4.0. Artikel Mahasiswa Sistem Telekomunikasi, 1, 2–3.
- Anggy, G. P., & Anwar, A. S. (2023). Perkembangan *Internet of Things (IoT)* pada sektor energi: Sistematis literatur review. *Jurnal Mentari*:

- Manajemen Pendidikan dan Teknologi Informasi, 1(2), 187–197.
- Arya, S. P., Suci, M. S., Maila, F. Hj, Badwi, M., & Isa, M. (2023). Pengaruh artificial intelligence, big data dan otomatisasi terhadap kinerja SDM di era *digital*. *Jurnal Publikasi Ilmu Manajemen (JUPIMAN)*, 2(4).
- Basaran, T. (2013). Industrial waste management and environmental sustainability. *Environmental Management Journal*, 7(2), 45–52.
- Chen, M., Sinha, A., Hu, K., & Shah, M. I. (2021). Impact of technological innovation on energy efficiency in industry 4.0 era: Moderation of shadow economy in sustainable development. *Technological Forecasting and Social Change*, 164, 120521.
- Dito, S. B., & Pujiastuti, H. (2021). Dampak revolusi industri 4.0 pada sektor pendidikan: Kajian literatur mengenai *digital learning* pada pendidikan dasar dan menengah. *Jurnal Sains dan Edukasi Sains*, 4(2), 59–65.
- Eliza, D. K., Lin Yan Che, Niella, T. U., & Ade, A. (2021). Perlindungan hukum bagi buruh yang di-PHK akibat otomatisasi di era revolusi industri 4.0 berdasarkan Undang-Undang Cipta Kerja. *Seri Seminar Nasional Universitas Tarumanagara*, 3(1).
- Emilia, D. (2023). Pengelolaan limbah industri: Solusi lingkungan untuk industri yang berkelanjutan. *Circle Archive*, 1(3).
- Hariz, A. R., Purwanto, P., & Suherman, S. (2018). Pengembangan kawasan industri ramah lingkungan sebagai upaya untuk menjaga keseimbangan ekosistem (Studi kasus di Taman Industri BSB Semarang). *Al-Hayat: Journal of Biology and Applied Biology*, 1(1), 58–65.
- Ibnu, K. A., Topik, H., Ridwan, Y. P., Hamid, A., & Ananda, Y. W. (2022). Pengaruh tren otomasi dalam dunia manufaktur dan industri. *Vocational Education National Seminar (VENS)*, 1(1), 46–50.
- IFR. (2022). *World Robotics 2022: Industrial Robots*. International Federation of Robotics.
- Iradiratu, D. P. K., Istiyo, W., Daeng, R., Belly Yan, D., & Tri, R. M. (2024). Pengembangan Cloud SCADA 1.3 sebagai otomasi industri jarak jauh. *CYCLOTRON: Jurnal Teknik Elektro*, 7(1), 71–75.
- Kresnadi, M. I., & Narendra, D. A. (2023). Transformasi *upskilling* dan *reskilling* sumber daya manusia dalam menghadapi tantangan Revolusi 4.0 di sektor kepelabuhanan dan logistik. *EKONOMIKA45: Jurnal Ilmiah Manajemen, Ekonomi Bisnis, Kewirausahaan*, 10(2), 169–174.
- Manan, S. (2009). Energi matahari, sumber energi alternatif yang efisien, handal, dan ramah lingkungan di Indonesia. *Gema Teknologi*.
- Masrichah, S. (2023). Ancaman dan peluang *Artificial Intelligence* (AI). *Jurnal Khatulistiwa*, 5(1).
- Meilinda, X., Nafil, A. A., & Jatmiko, F. (2023). Analisis manajemen sumber daya manusia instansi negeri era *digitalisasi* dengan kecerdasan buatan. *Jurnal Pendidikan dan Sosial Humaniora*, 3(3).
- Mohsen, S., Arezoo, B., & Dastres, R. (2023). Optimization of energy consumption in industrial robots. *Cognitive Robotics*, 3, 142–157.
- Nasir, M., Saputro, E. P., & Handayani, S. (2015). Manajemen pengelolaan limbah industri. *Benefit: Jurnal Manajemen dan Bisnis (Jurnal ini Sudah Migrasi)*, 19(2), 143–149.
- Nursidiq, M., Hadi, M. S., Lubis, M. M., & Riza, F. (2021). Pengelolaan limbah industri sebagai upaya pencegahan pencemaran lingkungan pada masyarakat Kelurahan Tangkahan di kawasan industri modern Medan. *Ihsan: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 3(1), 90–102.
- Pratama, A. S., Sari, S. M., Hj, M. F., Badwi, M., & Anshori, M. I. (2023). Pengaruh artificial intelligence, big data dan otomatisasi terhadap kinerja SDM di era *digital*. *Jurnal Pemanajemen*, 4(2).
- Salsabila, T. H., Indrawati, T. M., & Fitrië, R. A. (2023). Meningkatkan efisiensi pengambilan keputusan publik melalui kecerdasan buatan. *Jurnal Publikasi Media*, 5(1).

- 
- Sari, R. R., Febrini, D., & Walid, A. (2021). Tantangan guru PAI dalam menghadapi era perubahan globalisasi teknologi industri 4.0 di SMA Negeri 01 Bengkulu Tengah. *GHAITSA: Islamic Education Journal*, 2(1), 26–34.
- Soori, M., Arezoo, B., & Dastres, R. (2023). Optimization of energy consumption in industrial robots. *Cognitive Robotics*, 3, 142–157.
- Sudaryanto, A. P., & Hanny, S. (2023). Manajemen sumber daya manusia sektor publik menghadapi kemajuan kecerdasan buatan (Artificial Intelligence). *Jurnal Ilmu Sosial dan Politik*, 5(1).
- Wang, E.-Z., Lee, C.-C., & Li, Y. (2022). Assessing the impact of industrial robots on manufacturing energy intensity in 38 countries. *Energy Economics*, 105, 105748.
- Zanofa, A. P. (2021). Penerapan Bluetooth untuk gerbang otomatis. *Jurnal Portal Data*, 1(2).