

Smart Manufacturing: Latest Technologies And Applications In Industrial Engineering

¹⁾Setyo Nugrowibowo, ²⁾Mohammad Muslimin

¹⁾Sekolah Tinggi Teknologi Gempol, Indonesia

²⁾Program Studi Teknik Industri Universitas Islam Majapahit, Indonesia

¹⁾setyonugrowibowo@gmail.com , ²⁾muslimin4ndri@gmail.com,

Abstrak :

Penelitian ini mengkaji tentang kajian tentang teknologi terbaru smart manufacturing dan aplikasinya dalam teknik industri.. Penelitian yang digunakan oleh peneliti adalah Systematic Literature Review dengan data yang diperoleh dari jurnal dan artikel penelitian dari tahun 2019-2023. Platform sumber data yang digunakan pada penelitian ini Google Scholar dan Sage Journal. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwasannya Smart Manufacturing (SM) atau Industry 4.0 adalah istilah yang umumnya diterapkan pada peningkatan operasi manufaktur melalui integrasi sistem, menghubungkan kemampuan fisik dan siber, dan memanfaatkan informasi termasuk memanfaatkan evolusi data besar. Adopsi SM telah terjadi secara tidak merata di seluruh industri, sehingga ada peluang untuk melihat ke industri lain untuk menentukan solusi dan jalur peta jalan untuk industri. Keunggulan operasional setelah penerapan Industri 4.0 akan mencapai standar tingkat baru yang tidak terbayangkan dalam organisasi manufaktur tradisional karena penerapan manufaktur cerdas. Organisasi yang berkaitan dengan teknik industri akan berkontribusi pada pengurangan emisi lingkungan karena Industri 4.0 akan memantau tingkat emisi dan mengatur diri sendiri secara proaktif melalui sistem fisik siber untuk mengurangi dampak lingkungan. Bahaya dan aktivitas yang tidak aman secara ergonomis akan diotomatisasi dan oleh karena itu, kesehatan pekerja akan terjaga. Tidak hanya itu, implementasi dari Smart Manufacturing pada teknik industri akan berpengaruh signifikan pada hasil dan proses produksi baik waktu, biaya hingga keberlanjutan.

Kata kunci : Smart Manufacturing, Teknik Industri Teknologi

PENDAHULUAN

Isu terkait Industri 4.0 terus didiskusikan di antara para peneliti, pengusaha, perwakilan lembaga pemerintah, dan organisasi publik. Secara khusus, dampak paradigma Industri 4.0 pada perekonomian global dan nasional, industri individu, ketenagakerjaan, dan pasar modal semakin menarik perhatian para ekonom. Lingkungan industri global telah berubah secara dramatis dalam beberapa tahun terakhir sebagai akibat dari kemajuan dan penemuan teknologi (Sanghavi et al., 2019). Industri 4.0 dapat dibandingkan dengan tiga revolusi industri yang terjadi pada abad-abad sebelumnya dan merupakan perubahan yang paling signifikan dalam manufaktur sebagai hasil dari kemajuan teknologi. Setiap revolusi industri berpusat pada peningkatan produktivitas (Singh et al., 2022). Tiga revolusi industri pertama berdampak signifikan terhadap operasi industri, memungkinkan peningkatan produktivitas dan efisiensi dengan memanfaatkan terobosan teknologi inovatif, seperti mesin uap, listrik, dan teknologi digital. Industri 4.0, yang pada akhirnya dapat disebut sebagai revolusi industri keempat, adalah kerangka kerja yang sangat kompleks yang sering diperdebatkan dan ditemukan (Susanto et al., 2023). Ini berdampak signifikan pada sektor industri karena memperkenalkan perbaikan yang relevan terkait dengan pabrik pintar dan masa depan. Konsep Industri 4.0 yang sedang berkembang ini adalah istilah umum untuk paradigma industri baru yang mencakup Sistem Cyber-Fisik, Internet of Things, Internet of Services, Robotika, Big Data, Cloud Manufacturing, dan Augmented Realitas, dll (Md. Al-Amin et al., 2021)s.

Adopsi teknologi ini, yang akan menyatukan dunia digital dan fisik dengan merangkul serangkaian perkembangan industri masa depan, sangat penting dalam pengembangan proses industri cerdas lebih lanjut. Adopsi ini mencakup perangkat, mesin, modul produksi, dan produk yang dapat bertukar informasi dan saling mengontrol secara mandiri, sehingga menghasilkan lingkungan manufaktur yang cerdas (Tuptuk et al., 2021). Pendekatan baru ini akan memungkinkan peningkatan produktivitas dan efisiensi, membawa efek potensial yang sangat besar, dan akan mendukung serangkaian peluang ekonomi dan sosial di antara perusahaan yang mengadopsi

*penulis korespondensi



paradigma manufaktur baru. Teknologi baru telah mengarah pada otomatisasi manufaktur, dan akibatnya meningkatkan kompleksitas sistem (Tung, 2018).

Evolusi manufaktur difokuskan pada integrasi dunia fisik dengan dunia maya untuk membentuk sistem cyber-fisik. Teknologi digital dan transisi ke realitas "digital" baru mengubah aturan produksi, bisnis secara keseluruhan, tenaga kerja, dan bahkan masyarakat itu sendiri (Kumar et al., 2022). Dalam konteks ini, manufaktur cerdas, yang merupakan revolusi industri keempat dalam industri manufaktur, meningkatkan fleksibilitas dan kemampuan untuk mengambil tindakan preventif misalnya memprediksi suatu peristiwa sebelum terjadi dengan menggunakan berbagai teknologi IT, juga membuat produksi menjadi lebih cerdas dan berkelanjutan. Harus ditunjukkan bahwa banyak peneliti mencoba menangkap dan mendefinisikan konsep manufaktur pintar, tetapi sampai sekarang masih ada masalah yang harus dipecahkan (Tan et al., 2020).

Smart Manufacturing Systems mengacu pada teknologi komunikasi dan komputasi yang memungkinkan semua komponen sistem manufaktur terhubung secara digital dan digerakkan oleh analitik data, sehingga mencapai koordinasi cerdas. Muncul dengan beberapa manfaat signifikan seperti pengurangan biaya, produktivitas lebih tinggi, efisiensi sumber daya, kustomisasi produk, dan meminimalkan dampak lingkungan negative (Inyang et al., 2022). Di sektor industri Smart Manufacturing membantu mengurangi lalu lintas jaringan, memfasilitasi transaksi, dan privasi, yang membantu bisnis menggunakan sumber daya perangkat lunak untuk bertukar data (Wan et al., 2021). Oleh karena itu, dalam penelitian ini penulis akan melakukan kajian terkait teknologi terbaru smart manufacturing dan aplikasinya dalam teknik industry.

TINJAUAN PUSTAKA

Peneliti	Tujuan	Hasil
(Inyang et al., 2022)	Untuk menganalisa penerapan teknologi manufaktur cerdas berkelanjutan dan toolkit di industri otomotif	Teknologi smart manufacturing memanfaatkan mesin dan peralatan yang saling berhubungan untuk peningkatan sistem manufaktur dan optimalisasi energi. Manfaat SMS termasuk pengurangan biaya, peningkatan produktivitas, kustomisasi produk, efisiensi sumber daya, dan meminimalkan dampak lingkungan yang negatif. Secara global, industri otomotif memberikan penekanan yang signifikan pada SMS, mengingat inisiatif substansial yang sedang berlangsung.
(Ng et al., 2022)	Untuk menjelaskan bagaimana teknologi mutakhir ini digunakan dalam manufaktur berkelanjutan. Temuan penelitian ini sangat bermanfaat bagi para praktisi yang ingin menerapkan satu atau lebih teknologi digital untuk pembangunan berkelanjutan	Model bisnis perusahaan manufaktur kemudian bergeser akibat Industri 4.0. Transisi Industri 4.0 ini dilakukan tidak hanya dengan mengizinkan robot pintar di pabrik, tetapi juga dengan meningkatkan keterampilan manusia. Alur kerja yang lebih baik dan penerapan teknik pelatihan baru diperlukan untuk memungkinkan pengembangan keterampilan manusia yang sukses.
(Zenisek et al., 2021)	Menginvestigasi potensi teknologi manufaktur cerdas	Augmented Reality, Additive Manufacturing, dan Predictive Maintenance mewakili tiga tren teknologi utama dalam transformasi digital industri manufaktur yang sedang berlangsung. Meskipun, masing-masing tren teknologi yang tercakup mampu mengganggu industri manufaktur dan karenanya, saat menyaksikan ledakan, kami mengidentifikasi beberapa tantangan utama yang harus diatasi sebelum memanfaatkan potensi penuh teknologi.
(Ahmadi et al., 2020)	Menganalisis evaluasi dalam sistem manufaktur pintar berdasarkan revolusi industri modern	Untuk mewujudkan Smart Manufacturing, teknologi canggih di berbagai bidang, mulai dari CPS, manufaktur cloud, analitik data

*penulis korespondensi



		besar, IoT, dan sensor pintar hingga manufaktur aditif, hemat energi, dan hologram, sedang dikembangkan dan diterapkan ke lokasi manufaktur. Seiring meningkatnya perhatian yang diberikan pada Industri 4.0, manufaktur cerdas menjadi semakin penting dalam kemajuan industri dan ekonomi modern.
(Kamble et al., 2020)	Untuk mengukur kinerja untuk industri 4.0 mengaktifkan sistem manufaktur pintar di UKM.	Smart Manufacturing System atau SMS berkemampuan Industri 4.0 menawarkan manfaat yang lebih kompetitif dibandingkan dengan sistem manufaktur tradisional. Investasi yang direncanakan dalam SMS dapat dievaluasi pada sepuluh dimensi kinerja yaitu, biaya, kualitas, fleksibilitas, waktu, integrasi, produktivitas optimal, diagnosis & prognosis real-time, komputasi, keberlanjutan sosial dan ekologi.
(Sony et al., 2020)	Menganalisa perubahan Teknik industri India melalui Industri 4.0	Smart Manufacturing berkontribusi pada pengurangan emisi lingkungan karena Industri 4.0 akan memantau tingkat emisi dan mengatur diri sendiri secara proaktif melalui sistem fisik siber untuk mengurangi dampak lingkungan. Keunggulan operasional setelah penerapan Industri 4.0 akan mencapai standar tingkat baru yang tidak terbayangkan dalam organisasi manufaktur tradisional karena penerapan manufaktur cerdas pada industry Teknik di India
(Boukerika et al., 2019)	Menganalisa kerangka kerja konseptual dari faktor kunci pelanggan dan pemasok dalam implementasi manufaktur pintar di perusahaan	Manufaktur cerdas membuat jaringan organisasi yang saling berhubungan yang dapat bertukar informasi waktu nyata, yang mengarah ke lingkungan yang lebih efisien dan produktif. Strategi manufaktur, pengembangan proses, adopsi teknologi, sumber daya manusia, gaya kepemimpinan, dan budaya organisasi adalah faktor kunci untuk implementasi manufaktur cerdas

METODE PENELITIAN

Tinjauan pustaka dalam penelitian ini dilalui dengan penyeleksian secara sistematis yang ditelusuri dari database internasional. Penulis melakukan pencarian sumber data dari berbagai database antara lain menggunakan Google Scholar. Teknik pencarian pustaka menggunakan kata kunci yang sesuai dengan pertanyaan dari penelitian. Daftar kata kunci yang akan digunakan sebagai dasar dalam pencarian literatur adalah Kurikulum, Pendidikan, Revolusi Industri. Pencarian artikel menggunakan Bahasa Inggris dan Indonesia dengan tahun publikasi dibatasi 4 tahun terakhir (2019-2023).

HASIL PENELITIAN DAN DISKUSI

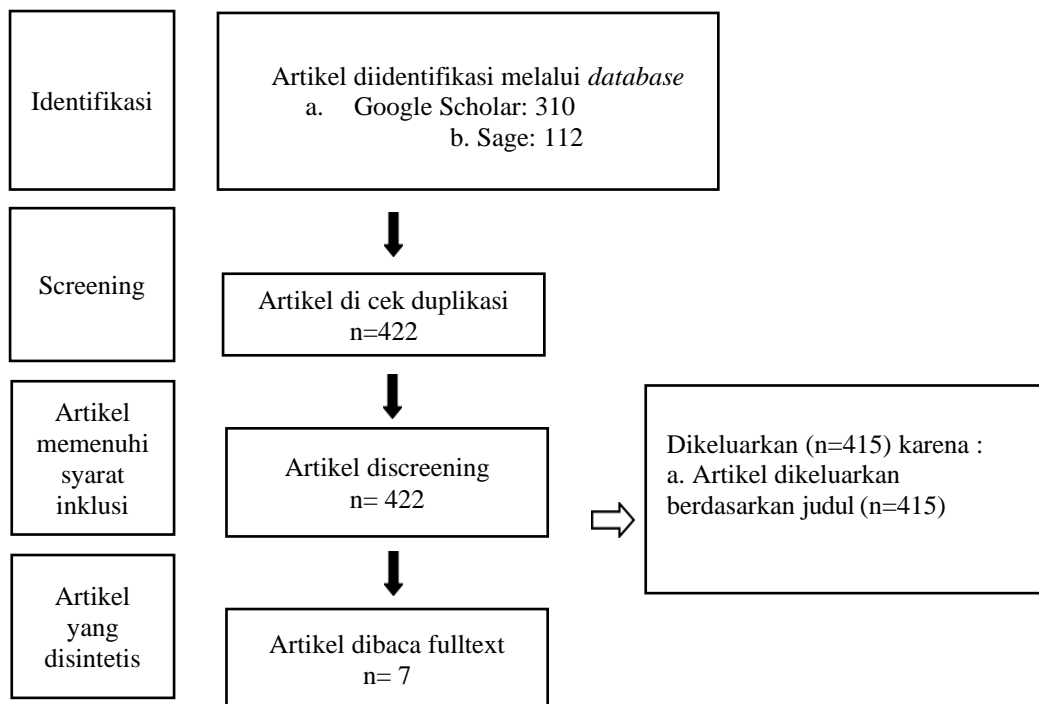
Hasil Penelitian Skema atau Diagram (PRISMA)

Bagan 1. menggambarkan proses seleksi artikel dengan menggunakan panduan dari *Preferred Reporting Systematic Reviews and Meta-analysis* (PRISMA). Penelusuran awal didapatkan jumlah artikel dari tahun 2019-2023 adalah 422 artikel. Selanjutnya, artikel *discreening*. Sebanyak 7 artikel dimasukkan ke tahap selanjutnya. Artikel dikaji kualitasnya sehingga didapatkan sebanyak 7 artikel disintesis di laporan akhir kajian dari pustaka.

*penulis korespondensi



This is an Creative Commons License This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.



Manufaktur Cerdas: Teknologi Dan Aplikasi Terbaru dalam Teknik Industri

Smart Manufacturing (SM) menggambarkan sistem manufaktur kolaboratif yang terintegrasi penuh yang merespons secara real-time untuk memenuhi permintaan dan kondisi yang berubah di pabrik pintar masa depan. Konsumen saat ini mengharapkan personalisasi produk dan pengiriman lebih cepat, keduanya membutuhkan pergeseran menuju kustomisasi massal (C. Wang, 2022). SM adalah produk yang digerakkan oleh teknologi dan pengiriman yang lebih cepat, keduanya membutuhkan pergeseran menuju kustomisasi massal. SM adalah pendekatan berbasis teknologi yang memanfaatkan mesin yang terhubung ke Internet dan pendekatan perangkat keras baru untuk memantau proses produksi, meningkatkan fleksibilitas, dan mendukung pekerja dalam rutinitas harian mereka menggunakan cara baru interaksi manusia-komputer (Boukerika et al., 2019). Untuk meningkatkan fleksibilitas dan mendukung pekerja dalam rutinitas sehari-hari mereka menggunakan cara baru interaksi manusia-komputer. Langkah-langkah ini diperlukan untuk mencapai tingkat fleksibilitas yang diperlukan (Sony et al., 2020). Teknologi manufaktur pintar mencakup pendekatan yang memanfaatkan mesin yang terhubung ke Internet dan pendekatan perangkat keras baru untuk memantau proses produksi (Kamble et al., 2020).

Saat ini, industri manufaktur bertujuan untuk meningkatkan daya saing melalui teknologi inovatif, yang disebut teknologi yang memungkinkan dengan tujuan mendorong pertumbuhan baru di sektor industri. Daya saing, inovasi, dan keberlanjutan mewakili pengungkit strategis untuk pembangunan ekonomi global (Ng et al., 2022). Dalam hal ini, perhatian komunitas industri dan akademik adalah menganalisis bagaimana sistem manufaktur digital akan mendorong perusahaan menuju “keberlanjutan” dan “ekonomi sirkuler” (Cioffi et al., 2020). Faktanya, seperti yang diakui oleh beberapa penulis, inovasi dan keberlanjutan adalah dua isu krusial bagi generasi sekarang dan mendatang dari sistem manufaktur cerdas. Memang, ekstraksi sumber daya alam, produksi limbah yang berlebihan, dan pemanasan global adalah masalah yang diketahui semua orang (Zenisek et al., 2021). Dalam hal ini, pencarian yang muncul telah menunjukkan bagaimana model melingkar untuk menggunakan kembali limbah memiliki pengaruh positif pada peningkatan seluruh rantai pasokan untuk memproduksi produk, sementara yang lain berfokus pada dampak teknologi digital dalam domain manufaktur, proses pengoptimalan, dan penjadwalan. masalah untuk memecahkan masalah polusi industri dan pemborosan sumber daya (Ahmadi et al., 2020).

Efektivitas organisasi adalah kemampuan organisasi untuk memenuhi tujuan atau sasarannya dan efisiensi adalah jumlah output untuk input. Penerapan Industri 4.0 akan dapat membangun sistem manufaktur fleksibel yang dapat dikonfigurasi ulang. Ini akan menciptakan ekosistem industri baru yang akan menghasilkan organisasi untuk mengintegrasikan, menyesuaikan, menyesuaikan, baik subsistem fisik & informasi internal (Adel, 2022). Selain itu, untuk memanfaatkan kompetensi organisasi eksternal, untuk mengurangi kerugian sumber daya dan meningkatkan efisiensi organisasi. Selain itu, akan menciptakan penanganan rantai pasokan yang efisien. "Penciptaan nilai produk-sentris" akan dicapai dalam semua tahap siklus hidup produk. Menerapkan Industri 4.0

*penulis korespondensi



akan membentuk keunggulan kompetitif dalam hal menghasilkan produk dan layanan berkualitas tinggi, kemampuan penetapan harga yang dinamis karena penggunaan data besar, menghasilkan produk dan layanan yang disesuaikan. Strategi semacam itu dapat menghasilkan peningkatan pangsa pasar untuk Teknik Industri baik pasar internal maupun eksternal (Thoben et al., 2017).

Implementasi Smart Manufacturing memerlukan pengenalan teknologi inovatif seperti IoT, CPS, manufaktur Cloud, manufaktur aditif, dll. Menciptakan paradigma manufaktur baru yang belum pernah terdengar di manufaktur tradisional. Kemampuan untuk menangani campuran tinggi dan volume rendah adalah salah satu kemampuan yang tidak akan pernah terpikirkan oleh produsen tradisional (Mahmoud & Grace, 2019). Kemampuan ini akan memungkinkan industri, untuk berinovasi dan memperluas segmen pasar yang dilayani oleh organisasi tradisional. Selain itu, mereka akan mampu bersaing di berbagai dimensi di pasar internasional dan nasional baik di segmen teknik berat maupun ringan. Implementasi Smart Manufacturing memerlukan integrasi organisasi secara vertikal, horizontal, dan end-to-end. Filosofi ini digerakkan dengan menggunakan berbagai arsitektur untuk pengembangan CPS (Kusiak, 2018). Salah satu arsitektur yang populer meliputi koneksi, cyber, kognisi, konversi, konfigurasi, koalisi, konten dan pelanggan. Komponen koneksi berkaitan dengan koneksi mesin melalui sensor untuk memperoleh berbagai parameter mesin untuk data yang akurat. Komponen konversi arsitektur bergantung pada konversi data ini menjadi informasi. Komponen dunia maya adalah pusat besar dari sistem dunia maya terintegrasi. Ini pada dasarnya digunakan untuk menganalisis, memprediksi, memantau kinerja mesin yang terhubung dalam sistem dunia maya (Didaskalou et al., 2021).

Algoritma AI digunakan untuk lebih menyempurnakan informasi untuk pengambilan keputusan dalam komponen kognisi. Bagian konfigurasi mengkonfigurasi sistem fisik untuk menggerakkan keputusan yang dibuat dalam komponen kognisi. Komponen koalisi mengintegrasikan rantai nilai produk dan merancang mekanisme integrasi untuk menghubungkan proses produksi dengan rantai nilai (B. Wang et al., 2021). Bagian konten digunakan untuk menyimpan informasi produk yang dapat digunakan untuk menyimpan, mengekstraksi, dan mengaktifkan ketertelusuran produk. Bagian pelanggan menghubungkan pelanggan dengan organisasi. Data penggunaan produk, kebutuhan dan preferensi pelanggan diteruskan kembali ke organisasi. Untuk merancang mekanisme seperti itu diperlukan investasi awal yang sangat besar. Ini adalah biaya tetap dan tidak akan bervariasi dengan jumlah unit produk yang diproduksi. Selain itu, juga akan ada biaya operasional yang akan bervariasi dengan jumlah unit produk yang diproduksi (Zenisek et al., 2021). Dengan menerapkan Smart Manufacturing pada sebuah industri teknik komponen biaya operasional akan lebih rendah dibandingkan produsen tradisional. Dalam jangka panjang, biaya tetap akan mencapai titik impas karena berkurangnya jumlah cacat, berkurangnya pemborosan material, alokasi sumber daya yang optimal, berkurangnya personel operasi, berkurangnya kesalahan manusia, dll (Boukerika et al., 2019).

KESIMPULAN

Dalam konteks digitalisasi manufaktur, manufaktur cerdas mencakup bagian penting dari isu riset dan inovasi yang diindikasikan sebagai prioritas untuk masa depan. Secara khusus, digitalisasi perusahaan sangat berfokus pada teknologi baru seperti IoT dan model bisnis yang lebih inovatif. Model bisnis baru difokuskan pada pengurangan, pengumpulan, penggunaan kembali, pemulihan, dan daur ulang. Jika prinsip dan praktik terbaik manufaktur pintar diterapkan sepenuhnya, perusahaan akan memiliki peluang untuk memaksimalkan sinergi antara digitalisasi dan ekonomi sirkular. Dengan cara ini, akan memungkinkan untuk memaksimalkan penggunaan kembali, mengurangi pemborosan energi, menghemat modal, memproduksi ulang dan mendaur ulang produk, komponen, dan material untuk meningkatkan keberlanjutan dan keuntungan secara keseluruhan. Tidak hanya itu penerapan Smart Manufacturing dalam industri teknik ini juga dapat mengurangi konsumsi energi dan pemborosan selama produksi.

REFERENSI

- Adel, A. (2022). Future of industry 5.0 in society: human-centric solutions, challenges and prospective research areas. *Journal of Cloud Computing*, 11(1). <https://doi.org/10.1186/s13677-022-00314-5>
- Ahmadi, A., Cherifi, C., Cheutet, V., & Ouzrout, Y. (2020). Recent Advancements in Smart Manufacturing Technology for Modern Industrial Revolution: A Survey. *Journal of Engineering and Information Science Studies*.
- Boukerika, A., Ahmad, H., & Shaharruddin, S. (2019). Key factors of customer-supplier of smart manufacturing implementation. *International Journal of Supply Chain Management*, 8(5), 419–423.
- Cioffi, R., Travagliani, M., Piscitelli, G., Petrillo, A., & Parmentola, A. (2020). Smart manufacturing systems and applied industrial technologies for a sustainable industry: A systematic literature review. *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(8). <https://doi.org/10.3390/APP10082897>

*penulis korespondensi



- Didaskalou, E., Manesiotis, P., & Georgakellos, D. (2021). Smart Manufacturing and Industry 4.0: A Preliminary Approach in Structuring a Conceptual Framework. *WSEAS TRANSACTIONS ON ADVANCES in ENGINEERING EDUCATION*, 18, 27–36. <https://doi.org/10.37394/232010.2021.18.3>
- Inyang, V., Kanakana, G. M., & Laseinde, O. (2022). Application of Sustainable Smart Manufacturing Technologies and Toolkits in the Automotive Industry. *Tshwane University of Technology*.
- Kamble, S. S., Gunasekaran, A., Ghadge, A., & Raut, R. (2020). A performance measurement system for industry 4.0 enabled smart manufacturing system in SMMEs- A review and empirical investigation. *International Journal of Production Economics*, 229(107853), 1–38. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107853>
- Kumar, M., Pandey, S., upadhyay, kanchan, Taunk, P., & Tamrakar, R. K. (2022). Recent Technical Breakthroughs Enable Smart Manufacturing: a Review. *Al-Bahir Journal for Engineering and Pure Sciences*, 1(2). <https://doi.org/10.55810/2312-5721.1010>
- Kusiak, A. (2018). Smart manufacturing. *International Journal of Production Research*, 56(1–2), 508–517. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1351644>
- Mahmoud, M. A., & Grace, J. (2019). Towards the adoption of smart manufacturing systems: A development framework. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 10(7), 29–35. <https://doi.org/10.14569/ijacsa.2019.0100705>
- Md. Al-Amin, M. A.-A., Hossain, T., & Islam, J. (2021). The Technology Development and Management of Smart Manufacturing System: A Review On Theoretical and Technological Perspectives. *European Scientific Journal ESJ*, 17(43), 170–193. <https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n43p170>
- Ng, T. C., Lau, S. Y., Ghobakhloo, M., Fathi, M., & Liang, M. S. (2022). The Application of Industry 4.0 Technological Constituents for Sustainable Manufacturing: A Content-Centric Review. *Sustainability (Switzerland)*, 14(7). <https://doi.org/10.3390/su14074327>
- Sanghavi, D., Parikh, S., & Raj, S. A. (2019). Industry 4.0: Tools and implementation. *Management and Production Engineering Review*, 10(3), 3–13. <https://doi.org/10.24425/mper.2019.129593>
- Singh, J., Banerjee, C., & Pandey, S. K. (2022). Need of Smart Automation , IOT and Secured Network in Industry 4.0. *Mathematical Statistician and Engineering Applications*, 71(3), 1944–1951.
- Sony, Michael, Aithal, & Sreeramana. (2020). Transforming Indian Engineering Industries through Industry 4 . 0 : An Integrative Conceptual Analysis Transforming Indian Engineering Industries through Industry 4 . 0 : An Integrative Conceptual Analysis. *Munich Personal RePEc Archive*, 102872, 0–12.
- Susanto, A. H., Simatupang, T. M., & Wasesa, M. (2023). Industry 4.0 Maturity Models to Support Smart Manufacturing Transformation: A Systematic Literature Review. *Resti*, 1(1), 19–25.
- Tan, H. Sen, Ivander, Oktarina, R., Reynaldo, V., & Sharina, C. (2020). Conceptual development of learning factory for industrial engineering education in Indonesia context as an enabler of students' competencies in industry 4.0 era. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 426(1), 0–10. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/426/1/012123>
- Thoben, K. D., Wiesner, S. A., & Wuest, T. (2017). "Industrie 4.0" and smart manufacturing-a review of research issues and application examples. *International Journal of Automation Technology*, 11(1), 4–16. <https://doi.org/10.20965/ijat.2017.p0004>
- Tung, C. M. (2018). Vertical integration for smart manufacturing-The dynamic capability perspective. *Journal of Advances in Technology and Engineering Research*, 4(2), 70–78. <https://doi.org/10.20474/jater-4.2.3>
- Tuptuk, N., Hazell, P., Watson, J., & Hailes, S. (2021). A systematic review of the state of cyber-security in water systems. *Water (Switzerland)*, 13(1), 188–194. <https://doi.org/10.3390/w13010081>
- Wan, J., Li, X., Dai, H. N., Kusiak, A., Martinez-Garcia, M., & Li, D. (2021). Artificial-Intelligence-Driven Customized Manufacturing Factory: Key Technologies, Applications, and Challenges. *Proceedings of the IEEE*, 109(4), 377–398. <https://doi.org/10.1109/JPROC.2020.3034808>
- Wang, B., Tao, F., Fang, X., Liu, C., Liu, Y., & Freiheit, T. (2021). Smart Manufacturing and Intelligent Manufacturing: A Comparative Review. *Engineering*, 7(6), 738–757. <https://doi.org/10.1016/j.eng.2020.07.017>
- Wang, C. (2022). The Application of Machine Vision in Intelligent Manufacturing. *Highlights in Science, Engineering and Technology*, 9, 47–50. <https://doi.org/10.54097/hset.v9i.1714>
- Zenisek, J., Wild, N., & Wolfartsberger, J. (2021). Investigating the Potential of Smart Manufacturing Technologies. *Procedia Computer Science*, 180(2019), 507–516. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.01.269>

*penulis korespondensi



This is an Creative Commons License This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.