

IMPLEMENTASI LEAN SIX SIGMA DI ERA INDUSTRI 4.0: SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW

^{1*}Nadirah Nurul Magfirah Dara, ²Elfira Makmur

^{1,2}Pendidikan Teknik Elektro, Universitas Negeri Makassar

Email: nadirahnurull03@gmail.com¹, elfiramakmur@unm.ac.id²

Corresponding author: Nadirah Nurul M. D

ABSTRAK

Perkembangan teknologi pada era *Industri 4.0* mendorong perusahaan untuk meningkatkan efisiensi dan kualitas produksi agar mampu bersaing secara global. Salah satu metode yang banyak digunakan adalah *Lean Six Sigma*, yaitu kombinasi antara konsep *Lean Manufacturing* yang berfokus pada pengurangan pemborosan (*waste*) dan *Six Sigma* yang berorientasi pada peningkatan kualitas produk. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis implementasi *Lean Six Sigma* di era *Industri 4.0* menggunakan metode *Systematic Literature Review* (SLR). Penelitian dilakukan dengan mengumpulkan berbagai artikel ilmiah dari beberapa database seperti *Google Scholar*, *ScienceDirect*, *Springer*, dan *IEEE Xplore*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa integrasi *Lean Six Sigma* dengan teknologi *Internet of Things* (IoT), *Artificial Intelligence* (AI), dan *Big Data Analytics* mampu meningkatkan efisiensi produksi, mengurangi *defect* produk, serta mempercepat proses pengambilan keputusan. Namun, implementasinya masih menghadapi tantangan seperti tingginya biaya investasi teknologi, keterbatasan sumber daya manusia, dan resistensi terhadap perubahan organisasi. Oleh karena itu, perusahaan perlu meningkatkan kompetensi tenaga kerja dan kesiapan teknologi agar implementasi *Lean Six Sigma* dapat berjalan secara optimal.

Kata Kunci: *Lean Six Sigma, Industri 4.0, efisiensi produksi, smart manufacturing, Systematic Literature Review.*

ABSTRACT

Technological developments in the Industry 4.0 era encourage companies to improve production efficiency and product quality in order to compete globally. One of the methods widely used is *Lean Six Sigma*, which combines the concept of *Lean Manufacturing* that focuses on reducing waste with *Six Sigma* that focuses on improving product quality. This study aims to analyze the implementation of *Lean Six Sigma* in the Industry 4.0 era using the *Systematic Literature Review* (SLR) method. The research was conducted by collecting various scientific articles from several databases such as *Google Scholar*, *ScienceDirect*, *Springer*, and *IEEE Xplore*. The results show that the integration of *Lean Six Sigma* with technologies such as the *Internet of Things* (IoT), *Artificial Intelligence* (AI), and *Big Data Analytics* can improve production efficiency, reduce product defects, and accelerate decision-making processes. However, its implementation still faces challenges such as high technology investment costs, limited human resources, and resistance to organizational change. Therefore, companies need to improve workforce competence and technological readiness so that the implementation of *Lean Six Sigma* can run optimally.

Keywords: *Lean Six Sigma, Industry 4.0, production efficiency, smart manufacturing, Systematic Literature Review.*

1. PENDAHULUAN

Perubahan sistem industri pada era *Industri 4.0* menyebabkan perusahaan harus mampu beradaptasi dengan perkembangan teknologi digital agar tetap kompetitif. Penggunaan teknologi seperti *Internet of Things* (IoT), *Artificial Intelligence* (AI), *Big Data Analytics*, dan sistem otomatisasi telah mengubah proses produksi menjadi lebih terintegrasi dan berbasis data. Transformasi tersebut membuat perusahaan tidak hanya dituntut meningkatkan kapasitas produksi, tetapi juga harus mampu menjaga kualitas produk serta efisiensi operasional secara bersamaan. Dalam praktiknya, banyak perusahaan masih menghadapi berbagai permasalahan operasional seperti tingginya tingkat *defect* produk, pemborosan bahan baku, waktu produksi yang tidak efisien, serta kurang optimalnya pengendalian kualitas. Kondisi tersebut dapat menyebabkan meningkatnya biaya produksi dan menurunkan produktivitas perusahaan. Oleh karena itu, diperlukan suatu pendekatan manajemen yang mampu membantu perusahaan melakukan perbaikan proses produksi secara berkelanjutan.

Salah satu metode yang banyak digunakan dalam peningkatan kualitas dan efisiensi industri adalah *Lean Six Sigma*. Metode ini merupakan kombinasi antara konsep *Lean Manufacturing* dan *Six Sigma*. *Lean Manufacturing* berfokus pada pengurangan aktivitas yang tidak memberikan nilai tambah atau *waste*, sedangkan *Six Sigma* bertujuan mengurangi variasi proses dan meningkatkan kualitas produk. Penggabungan kedua metode tersebut dinilai mampu meningkatkan performa produksi secara lebih efektif dan sistematis. Perkembangan teknologi pada era *Industri 4.0* turut mendukung implementasi *Lean Six Sigma* dalam berbagai sektor industri. Penggunaan teknologi digital memungkinkan proses produksi dipantau secara *real-time*, analisis data dilakukan lebih cepat, serta pengambilan keputusan menjadi lebih akurat. Selain itu, integrasi teknologi otomatisasi dan sistem cerdas membantu perusahaan meningkatkan efisiensi produksi dan mengurangi kesalahan dalam proses operasional.

Berbagai penelitian terdahulu menunjukkan bahwa penerapan *Lean Six Sigma* memberikan pengaruh positif terhadap peningkatan kualitas produk, pengurangan *waste*, dan efisiensi proses produksi. Namun, implementasi metode ini juga menghadapi beberapa tantangan, seperti tingginya biaya investasi teknologi, keterbatasan kompetensi sumber daya manusia, serta resistensi terhadap perubahan sistem kerja. Oleh karena itu, diperlukan kajian lebih lanjut mengenai implementasi *Lean Six Sigma* di era *Industri 4.0* agar dapat diketahui manfaat dan tantangan penerapannya dalam dunia industri modern. Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis implementasi *Lean Six Sigma* pada era *Industri 4.0* melalui metode *Systematic Literature Review* (SLR). Penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai efektivitas penerapan *Lean Six Sigma* dalam meningkatkan kualitas dan efisiensi industri serta menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya di bidang manajemen industri.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode *Systematic Literature Review* (SLR) untuk mengidentifikasi, mengkaji, dan menganalisis berbagai penelitian terdahulu yang berkaitan dengan implementasi *Lean Six Sigma* pada era *Industri*

4.0. Metode SLR dipilih karena mampu memberikan gambaran secara sistematis mengenai perkembangan penelitian, manfaat implementasi, tantangan, serta integrasi teknologi digital dalam penerapan *Lean Six Sigma* pada berbagai sektor industri.

Proses penelitian dilakukan melalui beberapa tahapan, mulai dari pencarian artikel, seleksi artikel, pengelompokan data, hingga analisis hasil penelitian terdahulu. Sumber artikel diperoleh dari berbagai database akademik seperti Google Scholar, ScienceDirect, Springer, IEEE Xplore, MDPI, Emerald Insight, Taylor & Francis, dan beberapa jurnal nasional yang relevan dengan bidang manajemen industri.

Artikel yang digunakan merupakan jurnal nasional dan internasional yang dipublikasikan pada rentang tahun 2020–2026. Pemilihan artikel dilakukan berdasarkan kesesuaian topik penelitian, yaitu implementasi *Lean Six Sigma*, *smart manufacturing*, transformasi digital industri, efisiensi produksi, *Internet of Things* (IoT), *Artificial Intelligence* (AI), dan teknologi pendukung *Industri 4.0* lainnya.

2.1 Proses Pencarian Literature

Pertama, penelitian dilakukan dengan menggunakan kata kunci seperti Lean Six Sigma, Industry 4.0, smart manufacturing, digital transformation, efisiensi produksi, peningkatan kualitas, dan sistem otomasi. Untuk membuat data yang digunakan lebih relevan dan terarah, proses pencarian secara online melalui database akademik digunakan untuk menemukan artikel yang relevan dengan topik penelitian. Artikel yang ditemukan kemudian dipilih berdasarkan judul, abstrak, dan isi penelitian. Artikel yang tidak sesuai dengan fokus penelitian dieliminasi.

2.2 Kriteria Inklusi dan Eksklusi

Kriteria inklusi dalam penelitian ini meliputi:

1. Artikel membahas implementasi *Lean Six Sigma* pada era *Industri 4.0*.
2. Artikel diterbitkan pada tahun 2021–2026.
3. Artikel berasal dari jurnal nasional maupun internasional yang memiliki pembahasan relevan dengan manajemen industri.
4. Artikel tersedia dalam bentuk *full*

text. Sedangkan kriteria eksklusi meliputi:

1. Artikel yang tidak berkaitan dengan *Lean Six Sigma* atau *Industri 4.0*.
2. Artikel yang memiliki pembahasan tidak lengkap.
3. Artikel duplikat dari database lain.
4. Artikel berupa opini tanpa hasil penelitian yang jelas.

2.3 Teknik Analisis Data

Artikel yang telah diseleksi kemudian dianalisis secara deskriptif dengan mengelompokkan pembahasan berdasarkan tema penelitian. Beberapa tema utama yang dianalisis meliputi manfaat implementasi *Lean*

Six Sigma, integrasi teknologi digital, peningkatan efisiensi produksi, pengurangan waste, peningkatan kualitas produk, serta tantangan implementasi pada sektor industri modern. Selanjutnya dilakukan proses sintesis literatur untuk membandingkan hasil penelitian terdahulu dan menemukan pola atau tren implementasi *Lean Six Sigma* pada era *Industri 4.0*.

2.4 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian dalam penyusunan *Systematic Literature Review* ini terdiri dari:

1. Identifikasi topik dan permasalahan penelitian.
2. Penentuan kata kunci pencarian artikel.
3. Pengumpulan artikel dari berbagai database akademik.
4. Seleksi artikel berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi.
5. Analisis isi artikel dan pengelompokan data penelitian.
6. Penyusunan hasil pembahasan dan penarikan kesimpulan.

Tabel 1. Ringkasan Proses Seleksi Artikel

NO.	Tahapan Seleksi	Jumlah Artikel
1.	Artikel Hasil Pencarian Awal	45
2.	Artikel Sesuai Topik Penelitian	36
3.	Artikel Setelah Eliminasi Duplikat	32
4.	Artikel yang Digunakan dalam Penelitian	30

Tabel tersebut menunjukkan proses seleksi artikel yang dilakukan selama penelitian. Dari hasil pencarian awal diperoleh sejumlah artikel, kemudian dilakukan penyaringan hingga diperoleh artikel yang relevan dan digunakan dalam penelitian ini.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Menurut analisis artikel internasional dan nasional, penerapan *Lean Six Sigma* di era *Industri 4.0* meningkatkan efisiensi operasional, kualitas produk, dan optimalisasi sistem produksi industri modern. Teknologi digital seperti *Internet of Things (IoT)*, *Artificial Intelligence (AI)*, *Big Data Analytics*, dan sistem otomatisasi membantu perusahaan meningkatkan efisiensi.

Hasil penelitian perusahaan yang menerapkan *Lean Six Sigma* dapat mempercepat proses produksi, meningkatkan kualitas produk, dan mengurangi tingkat defect. Selain itu, menggunakan teknologi digital memungkinkan perusahaan memantau produksi secara real-time, yang mempercepat proses pengambilan keputusan dan mengurangi tingkat kesalahan.

3.1 Implementasi *Lean Six Sigma* pada Era *Industri 4.0*

Penerapan *Lean Six Sigma* pada era *Industri 4.0* mengalami perkembangan yang cukup signifikan karena didukung oleh kemajuan teknologi digital. Berdasarkan hasil kajian literatur, integrasi teknologi modern membantu perusahaan melakukan pengendalian proses produksi secara lebih efektif dan efisien.

a. Peningkatan Efisiensi Produksi

Meningkatnya efisiensi produksi adalah salah satu keuntungan utama dari penerapan *Lean Six Sigma*. Studi menunjukkan bahwa *Lean Six Sigma* dapat mempercepat alur produksi, mengurangi waktu tunggu (waktu menunggu), dan meningkatkan produktivitas perusahaan. Metode *Lean* membantu perusahaan mengurangi aktivitas yang tidak menghasilkan nilai tambah atau sampah. Penggunaan teknologi otomatisasi dalam sistem produksi juga membantu perusahaan mengurangi kesalahan manusia dan membuat proses kerja lebih konsisten.

b. Pengurangan *Waste* dan *Defect* Produk

Selain itu, penerapan *Lean Six Sigma* membantu mengurangi jumlah sampah dan kesalahan produk. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bisnis yang menggunakan metode ini dapat mengurangi pemborosan bahan baku, mengurangi produk gagal, dan meningkatkan hasil produksi

mereka. Dengan menggunakan sensor digital dan sistem monitoring berbasis Internet of Things (IoT), perusahaan dapat mendeteksi gangguan produksi dengan lebih cepat, sehingga perbaikan yang dapat segera dilakukan membantu bisnis mengurangi tingkat kerusakan produk dan meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya yang digunakan untuk produksi.

c. Peningkatan Produktivitas dan Kualitas Produk

Hasil penelitian menunjukkan bahwa integrasi *Lean Six Sigma* dengan teknologi *Industri 4.0* mampu meningkatkan produktivitas dan kualitas produk secara signifikan. Teknologi *Artificial Intelligence* dan *Big Data Analytics* membantu perusahaan melakukan analisis data produksi secara lebih cepat dan akurat sehingga pengambilan keputusan dapat dilakukan secara optimal. Selain itu, penggunaan sistem *smart manufacturing* memungkinkan proses produksi berjalan secara otomatis dan terintegrasi. Hal tersebut membantu perusahaan meningkatkan kapasitas produksi tanpa mengurangi kualitas produk yang dihasilkan.

3.2 Integrasi Teknologi Industri 4.0 dalam *Lean Six Sigma*

Berdasarkan hasil analisis beberapa artikel internasional, teknologi *Industri 4.0* memiliki peran penting dalam mendukung implementasi *Lean Six Sigma*. Integrasi teknologi digital membantu perusahaan meningkatkan efektivitas pengendalian kualitas dan efisiensi operasional industri.

a. Pemanfaatan *Internet of Things* (IoT)

Teknologi IoT memungkinkan mesin dan perangkat produksi saling terhubung melalui jaringan internet sehingga proses monitoring dapat dilakukan secara *real-time*. Penggunaan IoT membantu perusahaan memperoleh data produksi secara otomatis dan akurat. Data tersebut digunakan untuk mendeteksi gangguan produksi, memantau performa mesin, serta mengurangi risiko terjadinya kerusakan sistem produksi. Dengan demikian, perusahaan dapat meningkatkan efisiensi operasional dan meminimalkan waktu henti produksi (*downtime*).

b. Penggunaan *Artificial Intelligence* (AI)

Berdasarkan beberapa penelitian, penggunaan AI membantu perusahaan melakukan analisis prediktif terhadap proses produksi. Teknologi AI mampu mengidentifikasi potensi kerusakan mesin dan memprediksi kemungkinan terjadinya *defect* produk sebelum proses produksi selesai dilakukan. Selain itu, AI juga membantu perusahaan meningkatkan akurasi pengendalian kualitas dan mempercepat proses pengambilan keputusan. Integrasi AI dengan *Lean Six Sigma* memberikan peluang besar bagi perusahaan untuk meningkatkan performa produksi secara berkelanjutan.

c. Pemanfaatan *Big Data Analytics*

Big Data Analytics membantu perusahaan mengelola dan menganalisis data produksi dalam jumlah besar. Berdasarkan hasil penelitian, penggunaan teknologi ini membantu perusahaan menemukan pola permasalahan produksi serta menentukan strategi perbaikan proses secara lebih efektif. Analisis data yang dilakukan secara cepat dan akurat memungkinkan perusahaan meningkatkan efisiensi produksi, mengurangi pemborosan, dan meningkatkan kualitas produk secara menyeluruh.

3.3 Tantangan Implementasi *Lean Six Sigma*

Meskipun memberikan banyak manfaat, implementasi *Lean Six Sigma* pada era *Industri 4.0* juga menghadapi berbagai tantangan. Berdasarkan hasil analisis literatur, beberapa perusahaan masih mengalami kesulitan dalam mengintegrasikan teknologi digital dengan sistem produksi yang telah ada sebelumnya.

a. Tingginya Biaya Investasi Teknologi

Salah satu tantangan utama adalah tingginya biaya investasi teknologi digital seperti sensor IoT, perangkat otomatisasi, dan sistem analisis data. Kondisi tersebut menyebabkan beberapa perusahaan, terutama industri kecil dan menengah, mengalami keterbatasan dalam penerapan teknologi *Industri 4.0*.

b. Keterbatasan Kompetensi Sumber Daya Manusia

Implementasi *Lean Six Sigma* memerlukan sumber daya manusia yang memiliki kemampuan dalam pengelolaan sistem digital dan analisis data. Namun, berdasarkan beberapa penelitian, masih banyak perusahaan yang mengalami keterbatasan tenaga kerja dengan kompetensi tersebut. Oleh karena itu, perusahaan perlu meningkatkan pelatihan dan pengembangan keterampilan tenaga kerja agar implementasi *Lean Six Sigma* dapat berjalan lebih optimal.

c. Resistensi terhadap Perubahan Organisasi

Perubahan sistem kerja akibat penerapan teknologi baru sering menimbulkan resistensi dari karyawan. Sebagian pekerja merasa kesulitan beradaptasi dengan sistem digital dan proses otomatisasi sehingga implementasi *Lean Six Sigma* menjadi kurang maksimal.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Studi sebelumnya menunjukkan bahwa penerapan *Lean Six Sigma* di era Industri 4.0 meningkatkan produktivitas perusahaan, kualitas produk, dan efisiensi operasional. Perusahaan dapat melakukan proses produksi secara lebih terintegrasi dengan menggunakan teknologi digital seperti *Internet of Things* (IoT), Artificial Intelligence (AI), Big Data Analytics, dan sistem otomatisasi. Secara berkelanjutan, *Lean Six Sigma* telah terbukti dapat meningkatkan kualitas hasil produksi, mempercepat proses produksi, mengurangi tingkat kesalahan produk, dan mengurangi pemborosan. Teknologi digital juga membantu bisnis memantau sistem produksi secara real-time, yang mempercepat proses pengambilan keputusan.

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi bagi perusahaan maupun peneliti selanjutnya dalam memahami implementasi *Lean Six Sigma* pada era *Industri 4.0*. Penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan kajian yang lebih spesifik pada sektor industri tertentu, seperti industri otomotif, makanan dan minuman, kesehatan, maupun logistik, agar diperoleh hasil penelitian yang lebih mendalam dan terfokus. Selain itu, penelitian berikutnya juga dapat mengembangkan analisis terkait pengaruh teknologi digital lainnya terhadap efektivitas penerapan *Lean Six Sigma* dalam meningkatkan daya saing industri modern.

REFERENSI

- Abdelwahed, N. A. A., Soomro, B. A., & Shah, N. (2024). Lean Six Sigma and digital transformation in Industry 4.0. *Total Quality Management & Business Excellence*. <https://doi.org/10.1080/14783363.2024.2302588>
- Alcácer, V., & Cruz-Machado, V. (2019). *Scanning the Industry 4.0: A literature review on technologies for manufacturing systems*. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 22(3), 899–919. <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2019.01.006>
- Antony, J., Sony, M., Dempsey, M., Brennan, A., Farrington, T., & Cudney, E. A. (2022). An evaluation into the limitations and emerging trends of Lean Six Sigma in manufacturing industries. *The TQM Journal*, 34(6), 1205–1223.
- Bhamu, J., & Singh Sangwan, K. (2014). Lean manufacturing: Literature review and research issues. *International Journal of Operations & Production Management*, 34(7), 876–940.
- Chiarini, A., & Kumar, M. (2021). Lean Six Sigma and Industry 4.0 integration for operational excellence. *International Journal of Lean Six Sigma*, 12(4), 773–789.
- practices on operational performance. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 69(6), 1125–1148.
- George, M. L. (2021). *Lean Six Sigma for service*. McGraw-Hill Education, New York.
- Ghobakhloo, M. (2020). Industry 4.0, digitization, and opportunities for sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 252, 119869. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119869>
- Hamid, A., & Rahman, M. (2023). Smart manufacturing and operational efficiency using Industry 4.0 technologies. *Applied Sciences*, 13(10), 6259. <https://www.mdpi.com/2076-3417/13/10/6259>

Hidayat, T., & Prasetyo, E. (2024). Implementasi Lean Manufacturing dalam meningkatkan efisiensi produksi.

Jurnal Teknik Industri, 15(2), 45–56.

Javaid, M., Haleem, A., Singh, R. P., Suman, R., & Gonzalez, E. S. (2021). *Understanding the adoption of Industry 4.0 technologies in improving environmental sustainability. Sustainable Operations and Computers*, 2, 203–217. <https://doi.org/10.1016/j.susoc.2021.01.008>

Kamble, S. S., Gunasekaran, A., & Sharma, R. (2020). Modeling the blockchain enabled traceability in agriculture supply chain. *International Journal of Information Management*, 52, 101967.

Kumar, S., Dhingra, A. K., & Singh, B. (2021). Lean Six Sigma implementation in manufacturing industries: A review. *Materials Today: Proceedings*, 46, 729–735.

Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H. A. (2015). A cyber-physical systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing Letters*, 3, 18–23.

Lestari, D., & Wijaya, A. (2023). Pengaruh Internet of Things terhadap sistem produksi industri modern. *Jurnal Sistem Industri*, 12(1), 33–44.

Maulana, R., & Sari, N. (2024). Analisis penerapan Lean Six Sigma pada industri manufaktur Indonesia. *Jurnal Manajemen Industri dan Engineering*, 8(2), 88–101. <https://ojs.uma.ac.id/index.php/jime/article/view/11693>

Nugroho, H., & Saputra, A. (2022). Integrasi teknologi digital dalam smart manufacturing. *Jurnal Rekayasa Industri*, 10(1), 55–66.

Pereira, A. C., & Romero, F. (2017). A review of the meanings and the implications of the Industry 4.0 concept.