

TRANSFORMASI WAREHOUSE DI PERUSAHAAN INDUSTRI DENGAN SISTEM TEKNOLOGI 4.0

Jeslin Silvester Sihombing¹, Yohannes Sibarani², Muhammad Al Faridzi³

^{1,2,3}Program Studi Sarjana Teknik Industri Universitas Riau Kepulauan, Indonesia
Jalan Batu Aji Baru No. 99, Batuaji, Kota Batam, Provinsi Kepulauan Riau
Email : jeslinsihombing604@gmail.com ,yohanessibarani1201@gmail.com, faridzbest@gmail.com

Abstrak

Gudang merupakan jantung rantai pasok, prosesnya dimulai dari penerimaan barang, penyimpanan, pengiriman, yang berdampak pada pengurangan biaya, kesalahan, dan waktu operasional. Dalam industri 4.0 telah memberikan dampak pada sektor pendukung inti dari industri, yaitu sektor pergudangan yang merupakan bagian penting dalam aliran bahan baku dan hasil produksi hingga pengguna akhir, dimana pergudangan telah menjadi sumber kunci dalam mencapai keunggulan kompetitif dari organisasi penyedia jasa logistik, maupun distribusi. Pada sisi yang lain, supply chain yang semakin kompleks membuat perusahaan rentan terhadap kesalahan, sehingga teknologi industri 4.0 semakin banyak diterapkan. Berbagai penelitian mulai menggunakan teknologi industri 4.0 dalam penerapan *lean warehousing*. Penelitian ini bertujuan untuk meninjau topik penelitian dalam konteks penerapan teknologi industri 4.0 dalam *lean warehousing* dengan melakukan literature review, Dalam penelitian ini diidentifikasi delapan belas hambatan inisiatif Industri 4.0, selanjutnya diklasifikasikan pada empat kriteria utama yaitu: Organisasi (O), Teknologi (T), Strategi (S), Legal & Etika (L). Hasil literature review menyimpulkan bahwa pilar autonomous robots, simulation, horizontal and vertical system integration, serta industrial internet of things dari industri 4.0 banyak diterapkan bersama metodologi dan tools dari *lean warehousing*.

Kata Kunci: Gudang; Teknologi Industri 4.0; *Lean warehousing*; Logistik

Abstract

The warehouse is the heart of the supply chain, the process starts from receiving goods, storage, shipping, which has an impact on reducing costs, errors, and operational time. In industry 4.0, it has had an impact on the core supporting sectors of the industry, namely the warehousing sector which is an important part in the flow of raw materials and production results to end users, where warehousing has become a key source in achieving competitive advantage for logistics service providers and distribution organizations. On the other hand, the increasingly complex supply chain makes companies vulnerable to errors, so that industry 4.0 technology is increasingly being applied. Various studies have begun to use industry 4.0 technology in the application of lean warehousing. This study aims to review research topics in the context of the application of industry 4.0 technology in lean warehousing by conducting a literature review. In this study, eighteen barriers to Industry 4.0 initiatives were identified, then classified into four main criteria, namely: Organization (O), Technology (T), Strategy (S), Legal & Ethics (L). The results of the literature review concluded that the pillars of autonomous robots, simulation, horizontal and vertical system integration, and the industrial internet of things from Industry 4.0 are widely applied together with the methodology and tools of lean warehousing.

Keywords: Warehouse; Industry 4.0 Technology; *Lean warehousing*; Logistics

1. Pendahuluan

Tujuan utama dari setiap manajemen rantai pasokan adalah untuk mencapai koordinasi dan keterkaitan antar semua proses dan entitas yang bekerja sama, Dampak pertukaran informasi pada pengembangan rantai pasokan telah menjadi lebih signifikan dengan kemajuan dalam Teknologi Informasi (IT)[1]. Dengan berfungsi sebagai hub atau node yang menghubungkan aliran material antara pembeli dan supplier, gudang memainkan peran penting dalam rantai pasokan [2]. Oleh karena itu, operasi gudang harus diperhatikan agar beroperasi dengan baik [3]. Reception, putaway, storing, order picking, dan shipping adalah semua tindakan yang biasanya dilakukan oleh gudang [4]. Operasi gudang yang tidak lancar dapat menyebabkan banyak masalah dan ketidakpuasan pelanggan. Sebagai contoh, gangguan dalam operasi gudang dapat menghambat produksi produk berkualitas tinggi dalam waktu singkat [5,6,7]. Oleh karena itu, memiliki gudang yang efektif dan efisien sangat penting bagi perusahaan. Ini seringkali dicapai melalui penerapan gagasan *lean* [8]. Sebagai bagian dari upaya Toyota Motor Company untuk memproduksi mobil dengan kualitas terbaik, biaya terendah, dan lead time yang paling singkat, sistem produksi Toyota (TPS) pertama kali menerapkan *Lean* dalam proses manufaktur. Prinsip *lean manufacturing* masih banyak digunakan hingga saat ini karena efektif dan efisien dalam mengurangi sampah, menurunkan waktu tunggu, dan meningkatkan produktivitas [9]. *Lean* telah berkembang dari manufaktur ke sektor lain perusahaan, seperti supply chain, gudang, dan bahkan perusahaan itu sendiri [10]. kemampuan *lean* untuk menemukan dan menghilangkan pekerjaan yang tidak membawa nilai tambahan [11]. menyebabkan penerapan *lean* dalam sistem gudang (*lean warehousing*) menjadi penting untuk meningkatkan efektivitas dan efisiensi gudang secara keseluruhan. Suatu aktivitas dapat dikatakan sebagai waste apabila termasuk salah satu dari kategori-kategori pada Tabel 1.

Tabel 1. Jenis Waste dalam Lingkungan Gudang

<i>Waste Type</i>	<i>Production</i>	<i>Warehouse</i>
Waste of production (overproduction)	A waste of materials is caused by overproduction in manufacturing.	Inventory excess is considered an waste in warehousing
Waste of time (waiting and idle time)	Waste of time	The same as in production

Waste of Transportation	Needless material and tools movement	In the process of handling materials, unneeded movements cause waste.
Waste of inventory	Inventory waste happens when purchasing or storing excessive supplies, materials, and other resources.	When stock-outs are frequent, poor inventory control causes waste.
Waste of processing	This waste comes from unnecessary processing that does not add value to the item produced	When over-checking happens, it is considered as waste.
Waste of motion	Needless movement of workers	When there is a search for items or tools that cannot be located, this causes waste in movement
Waste of defect	Items that are defective are a waste of production resources Workers' unused creative	Errors result in waste
Waste of creativity	ideas are considered a waste of human resources	The same as in production

Sumber : Ackerman,2007

Banyak penelitian telah menunjukkan bahwa menerapkan *lean warehousing* berhasil memperbaiki sistem gudang. Aplikasi *lean* dalam gudang dianggap dapat menghasilkan perbaikan yang signifikan, seperti peningkatan efisiensi prosedur, pengurangan waktu tunggu dan pemrosesan klien, dan pengendalian variabilitas inventory (13). Bahkan, penelitian menunjukkan bahwa perbaikan pergudangan dengan konsep *lean* mampu mengurangi waktu pemrosesan pesanan sebesar 50% (14). Menurut penelitian tambahan,

lean warehousing dapat menghemat waktu hingga 36% pada proses penerimaan, penyimpanan, dan pengambilan (15). serta pengurangan waktu pencarian produk sebesar 20% dan waktu return sebesar 24% selama proses picking order. [16]. Proses supply chain, termasuk gudang, semakin kompleks, sehingga perusahaan rentan terhadap berbagai kesalahan yang berbahaya. Akibatnya, teknologi industri 4.0 mengacu pada sistem cyber-fisik (CPS), yang menghubungkan dunia fisik dengan dunia virtual. Oleh karena itu, teknologi industri 4.0 semakin banyak digunakan dalam proses rantai pasokan saat ini, mulai dari pengumpulan data, penyimpanan data, hingga analisis data. [9], sedangkan industri 4.0 sendiri didefinisikan sebagai visi industry yang memungkinkan orang dan benda terhubung kapan saja, di mana saja, dengan apa saja dan siapa saja, yang idealnya menggunakan jaringan dan layanan apapun [17] Tabel 2 menunjukkan klasifikasi teknologi industri 4.0. Dinilai bahwa penggunaan teknologi industri 4.0 dapat meningkatkan kualitas, keuntungan, lead time, kecepatan pengambilan keputusan, dan risiko kehilangan atau kesalahan pencatatan yang lebih rendah [19]. Lebih lanjut lagi, saat ini teknologi industri 4.0 dianggap sebagai suatu paradigma baru yang digunakan untuk menghubungkan manusia, mesin, serta proses dalam kondisi kerangka kerja operasional yang terus berkembang dan sistem manajemen yang terdistribusi [9]. Selaras dengan hal tersebut, para peneliti telah berusaha menggabungkan teknologi industri 4.0 dengan pendekatan *lean* agar dapat memenuhi kebutuhan pelanggan secara lebih efektif dan efisien. Berbagai penelitian sebelumnya menunjukkan hubungan positif antara teknologi 4.0 dengan prinsip *lean*, di mana teknologi industri 4.0 membantu dalam menerapkan konsep *lean* [20,21,22,23,24].

Tabel 2. Industri 4.0 dan Karakteristik Teknologi

Industry 4.0 Pillar	Technology or Characteristic
Autonomous Robots	Collaborative robots Automated guided vehicles (AGV) Smart machines
Simulation	Of product or of process Digital twin
Horizontal and Vertical System Integration	Interconnection between machines and MES/ERP Data sharing between suppliers, company and customers

The Industrial Internet of Things (IoT)	Radio frequency identification (RFID), sensors, tags, global positioning systems Real-time scanning through smartphone Smart bin
Cybersecurity	<i>Encryption, cryptography, virus scanners, signature scanner, information and communication technology (ICT) anomaly detection/IDS</i> Cloud systems for data sharing or for analytics application
Cloud	3D Printing Smart material
Additive Manufacturing	<i>Augmented reality</i> Virtual Reality
Augmented reality (AR)	Descriptive (and diagnostic), predictive, prescriptive Artificial Intelligence
Big Data e-Analytics	

Sumber: Ciano et al. (2021)

Integrasi teknologi industri 4.0 dengan prinsip *lean* lebih sering terpusat pada sektor manufaktur atau produksi, yaitu *lean manufacturing*. Topik yang membicarakan sinergi antara teknologi industri 4.0 dengan pendekatan *lean* di bidang gudang masih terbatas. Padahal, perkembangan digitalisasi, otomasi, dan tingkat kompleksitas yang semakin meningkat justru membutuhkan penerapan teknologi industri 4.0 dan prinsip *lean*, bukan hanya dalam proses produksi, tetapi juga dalam proses gudang. Oleh karena itu, paper ini dibuat untuk mengatasi kekurangan tersebut dengan melakukan penelitian yang menerapkan teknologi industri 4.0 dan *lean warehousing* secara bersamaan. Melalui penelitian ini, paper ini bertujuan untuk memahami topik yang dibahas dalam konteks penggunaan teknologi industri 4.0 dalam *lean warehousing*, dengan menjawab beberapa pertanyaan, yaitu: 1) Teknologi apa saja dari industri 4.0 dan elemen apa saja dari *lean warehousing* yang dibahas? ; 2) Aktivitas apa saja dalam gudang yang dibahas dalam

penggunaan teknologi industri 4.0 serta penerapan *lean warehousing*? ; 3) Bagaimana peran teknologi industri 4.0 dalam penerapan *lean warehousing*.

2. METODE PENELITIAN

Studi ini menggunakan review literatur untuk memberikan gambaran menyeluruh tentang penelitian tentang penerapan teknologi industri 4.0 dan *lean warehousing*. Untuk database Scholar dan Science Direct, Publish or Perish digunakan untuk mencari literatur. Dalam pencarian literatur, kata kunci utama yang digunakan adalah "teknologi industri 4.0" dan "*lean warehousing*". Selain itu, kata kunci pertama dicari dua kali, yaitu untuk "*lean warehousing*" dan "*lean warehouse*", dan kata kunci yang lebih spesifik tentang jenis teknologi industri 4.0 juga digunakan.[9], seperti "CPS", "AGV", "simulation", "IoT", "RFID", "ICT", "big data", "cloud computing", "sensor", dan "*augmented reality*". Kata kunci pencarian seperti "barcode", "sistem manajemen gudang" (WMS), dan "sistem penyimpanan dan pengembalian otomatis" (AS/RS) adalah beberapa teknologi industri 4.0 yang umum digunakan di gudang. Untuk menjaga relevansi topik dengan studi tujuh tahun terakhir, tahun publikasi yang dipilih adalah mulai tahun 2018 hingga tahun 2025. Selanjutnya, literatur disaring berdasarkan kesesuaian judul dan abstrak dengan topik yang akan dibahas. Dalam tulisan ini, tidak ada literatur yang tidak berbahasa Inggris.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Teknologi Industri 4.0 dan Elemen *Lean warehousing* yang Dibahas

Hasil menunjukkan bahwa berbagai teknologi industri 4.0 yang diterapkan untuk *lean warehousing* terus berkembang, seperti otomotif, tekstil, makanan dan minuman (F&B), elektronik, dan farmasi. Tabel 3 menunjukkan berbagai teknologi industri 4.0 yang diterapkan bersama *lean warehousing*, seperti pilar robot autonomous, simulation, integrasi sistem horizontal dan vertical, dan industrial IoT. Contoh[46] yang membahas penggunaan WMS, RFID, dan sistem put-to-light untuk meningkatkan produktivitas gudang. [26] mengusulkan penggunaan stacker cranes dan robotic automation dalam proses pickup, loading, dan unloading; barcode dalam proses sorting; verifikasi RFID dan scan; dan AGV dalam proses pemindahan barang untuk meningkatkan kinerja bisnis.[32] juga menyarankan penggunaan RFID, pengaturan AS/RS, dan penggunaan simulasi digital twin untuk visualisasi dan pemantauan

statistik proses. Meskipun pilar *augmented reality* (AR) telah berkembang pesat dalam beberapa gudang, seperti pada. [50]. Tabel 3 menunjukkan bahwa konsep *lean warehousing* digunakan dalam berbagai cara, bersama dengan adopsi teknologi industri 4.0. Jurnal ini menemukan bahwa dari 8 jenis sampah yang ada untuk lingkungan gudang, sampah waktu adalah yang terbesar.[27,28,33,37,49], transportation [27,37], dan defect [27,28] merupakan tiga jenis sampah yang sering dibicarakan. Bukan hanya sampah, banyak penelitian menggunakan JIT, seperti Heijunka, SMED, dan Kanban. [25,30,39,40,48] serta fondasi *lean house* seperti *maintenance total productive* (TPM), 5S, dan *continuous improvement* [25,28,30,32,34,43,44,48]. Dalam operasional gudang, metode perbaikan proses *lean six sigma*, seperti penentuan ukuran, analisis, perbaikan kontrol (DMAIC), digunakan bersama dengan diagram suppliers, inputs, process, output, and customers (SIPOC) dan diagram Ishikawa. Kedua diagram ini sering digunakan dalam industri manufaktur. [27,28,36,49]. *Value stream mapping* (VSM) adalah alat *lean* yang sangat digunakan untuk menampilkan visualisasi proses dan menemukan proses di mana aktivitas pemborosan atau *non-value added* (NVA) terjadi.[26,28,29,31,32,34,35, 36,38,45,46,47]. *Lean tools* yang dikembangkan mulai digunakan dalam penelitian terkait saat diintegrasikan dengan teknologi industri 4.0. Salah satunya adalah [26], yang menggunakan VSM 4.0 untuk menemukan sampah klasik dan data.

3.2. Aktivitas Gudang yang Dibahas dalam Penggunaan Teknologi Industri 4.0 Sekaligus Penerapan *Lean warehousing*

Sebagian besar, proses gudang secara keseluruhan dievaluasi dan diperbaiki melalui penggunaan teknologi industri 4.0 dan *lean warehousing*. Jenis teknologi yang paling umum digunakan dalam penelitian ini adalah sistem yang terpusat atau terintegrasi. [25,38,42], termasuk warehouse management system (WMS) [39,45,47] atau IoT [34]. Selain itu, teknologi simulasi [27,30], termasuk digital twin [31], juga digunakan untuk menjelaskan proses gudang secara keseluruhan dan menganalisis tindakan

sebelum diimplementasikan. Penelitian ini menggunakan konsep *lean warehousing* yang juga dapat menggambarkan dan menganalisis proses gudang secara keseluruhan, seperti DMAIC, *continuous improvement*, dan VSM. Penelitian lain biasanya berfokus pada analisis satu proses gudang tertentu dengan berbagai macam pertimbangan. [28] berkonsentrasi pada proses loading karena kompleksitas masalah sorting dan reshuffle menarik untuk dipelajari.[32] melihat bahwa akumulasi waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan pesanan dan meningkatkan efisiensi akibat pengelolaan inventory gudang sangat penting untuk mencegah kelangkaan. Dalam [37], Karena merupakan proses yang paling membutuhkan waktu dan biaya, proses pengambilan pesanan menjadi fokus penelitian. Lebih dari satu jenis operasi gudang dikaji dalam sejumlah studi.[43] mengevaluasi proses pembagian item dan pengambilan pesanan pada gudang dengan sistem AS/RS sebagai aktivitas yang berkaitan. [35] mengevaluasi proses pembagian item dan pengambilan pesanan pada gudang dengan sistem AS/RS sebagai aktivitas yang berkaitan. [35] Selain itu, mengevaluasi proses pengambilan pesanan yang diikuti oleh pengiriman sebagai proses yang berurutan.[29] berkonsentrasi pada proses penyediaan material, yang dapat menyebabkan keterlambatan dan ketidaksesuaian pesanan, serta proses penyimpanan, yang memastikan kualitas produk selama penyimpanan. Di dalam[29], Procurement-VSM (P-VSM) adalah sejenis VSM yang dimodifikasi untuk mengakomodasi proses yang lebih khusus. Secara keseluruhan, jika digunakan bersamaan dengan *lean warehousing*, teknologi industri 4.0 dapat mengubah banyak proses gudang, termasuk logistik, aliran material, penyimpanan, pengambilan permintaan, dan pengiriman.

3.2. Peran Teknologi Industri 4.0 dalam Penerapan *Lean warehousing*

Menurut jurnal, penelitian yang menerapkan teknologi industri 4.0 dan *lean warehousing* secara bersamaan menunjukkan beberapa keuntungan besar. Sebagian besar penelitian menghasilkan pengurangan waktu dalam

berbagai aspek, termasuk lead time, cycle time, travel time, waktu NVA, loading, picking order, execution of order, dan pencarian produk atau material. Salah satu hasil yang cukup berbeda dari penerapan *lean warehousing* saja adalah penurunan error atau peningkatan akurasi yang dicapai melalui penggunaan teknologi industri 4.0, yang mencakup fitur sistem terintegrasi, otomatisasi pencatatan data secara real-time, dan standarisasi informasi. salah satu yang terjadi pada [40] adalah penggabungan konsep Kanban dengan penggunaan barcode untuk melakukan pencatatan data transaksi secara otomatis dan cepat. Barcode memungkinkan setiap produk diidentifikasi secara unik dan dipindai dengan akurasi tinggi, yang mengurangi kesalahan manusia dalam pencatatan data. Selain itu, data produk dalam WMS dapat diperbarui secara real-time setiap kali barcode dipindai saat terjadi transaksi, memastikan bahwa data inventory selalu akurat dan terbaru. Dengan menggabungkan teknologi industri 4.0 dan *lean warehousing*, biaya juga turun. Beberapa di antaranya adalah pengurangan biaya tenaga kerja karena penggunaan QR code pada platform seluler mengurangi jarak dan waktu yang dihabiskan untuk mengambil pesan.[37], serta mengurangi biaya perawatan produk karena kesalahan manusia karena digitalisasi gudang yang terus diperbaiki [44]. Secara keseluruhan, temuan penelitian ini menunjukkan bahwa produktivitas dan efisiensi telah meningkat. Salah satu hasil tambahan dari penerapan teknologi industri 4.0 dalam *lean warehousing* adalah peningkatan tracking item [26], yang dapat mengurangi sampah, seperti waktu yang terbuang karena pencarian item yang terlalu lama [33]. Selain itu, jumlah kesalahan dikurangi [42,48], tingkat kecelakaan dikurangi [26], dan jarak picking order, yang juga dikenal sebagai sampah transportasi, dikurangi [37]. juga berkaitan dengan peningkatan kerja lingkungan. Ini dicapai melalui penggunaan energi yang lebih rendah dengan mengoptimalkan perpindahan gudang dan penggunaan otomatis elektrik sebagai pengganti pengangkutan konvensional

yang bergantung pada bahan bakar. Secara keseluruhan, penelitian yang dilakukan menunjukkan bahwa teknologi industri 4.0 memiliki peran dalam penerapan *lean warehousing*. 22 penelitian termasuk dalam kategori pertama, yang menunjukkan bahwa teknologi industri 4.0 mendukung atau meningkatkan implementasi *lean warehousing*. Sebagai ilustrasi, pada [38], Barcode scanner dan sistem sentral, juga dikenal sebagai software CRM, digunakan untuk menghilangkan NVA atau sampah yang telah ditemukan selama proses gudang, yang didasarkan pada VSM dan analisis Pareto. 3 literatur dapat menunjukkan kategori kedua, yang mencakup penggunaan teknologi industri 4.0 dan *lean warehousing* yang saling melengkapi. Salah satunya adalah [31], yang menggabungkan VSM sebagai teknik penilaian efisiensi ke dalam gagasan digital twin, memungkinkan untuk menilai kinerja gudang karena strukturnya yang dinamis dan kompleks.

Tabel 3. Literatur Terkait

Klasifikasi	Literatur terkait
Teknologi industri 4.0 mendukung atau meningkatkan efektivitas dari penerapan <i>lean warehousing</i>	[25, 26, 28, 29, 30, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49]
Penerapan teknologi industri 4.0 dan <i>lean warehousing</i> saling melengkapi	[27, 31, 40]

Penelitian tentang penerapan teknologi industri 4.0 dan *lean warehousing* secara bersamaan masih banyak berfokus pada peran teknologi industri 4.0 yang mendukung penerapan *lean warehousing*. Namun, evaluasi evaluasi penerapan teknologi industri 4.0 yang tidak menambah kompleksitas proses gudang, serta masalah dan tantangan yang terkait dengan penerapan teknologi industri 4.0.

4. KESIMPULAN

Dalam penelitian ini, berbagai macam teknologi industri 4.0 telah digunakan, terutama pilar robot autonomous, simulation, integrasi sistem horizontal

dan vertical, dan industri IoT. Pilar AR, di sisi lain, masih belum banyak dibahas, meskipun mulai digunakan dalam berbagai gudang. Selain itu, ada banyak konsep *lean warehousing* yang digunakan, mulai dari konsep sampah, JIT, hingga pondasi *lean house*, seperti *continuous improvement*, 5S, dan TPM. Metodologi DMAIC dan alat VSM juga sangat digunakan dalam banyak penelitian. Sebagian besar penelitian berkaitan dengan proses gudang secara keseluruhan dan penggunaan teknologi industri 4.0 serta komponen *lean warehousing* yang memiliki dampak yang luas, seperti WMS, sistem sentral atau terintegrasi, IoT, DMAIC, *continuous improvement*, VSM, dan Warehouse Management Systems (WMS). Selain itu, ada penelitian yang berfokus pada satu proses tertentu dalam gudang, seperti mengisi, mengelola inventaris, dan mengambil pesanan. Secara keseluruhan, penerapan teknologi industri 4.0 dalam *lean warehousing* menghasilkan hasil yang signifikan. Beberapa di antaranya adalah mengurangi kehilangan waktu, transportasi, dan kesalahan. Pengurangan biaya operasional, pengawasan produk yang lebih baik, dan penurunan tingkat kecelakaan adalah semua hasil yang dicapai. Penggunaan teknologi industri 4.0 dalam penerapan *lean warehousing* terbagi menjadi dua kategori: penerapan teknologi industri 4.0 yang mendukung atau meningkatkan penerapan *lean warehousing* dan penerapan teknologi industri 4.0 dan *lean warehousing* yang saling melengkapi. Studi lebih lanjut perlu dilakukan mengenai bagaimana *lean warehousing* dapat berfungsi sebagai dasar untuk penerapan teknologi industri 4.0, serta membahas masalah dan kesulitan yang muncul saat menerapkannya.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis dengan penuh rasa syukur dan hormat mengucapkan terima kasih kepada semua orang yang telah membantu, membantu, dan memberikan kontribusi yang sangat penting selama proses penyusunan jurnal ini, mulai dari tahap perencanaan, pelaksanaan penelitian, hingga proses penulisan. Secara khusus, penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Hery Irawan, S.T., M.T., sebagai dosen pembimbing, yang dengan penuh kesabaran dan ketelitian telah memberikan arahan untuk jurnal ini. Penyelesaian jurnal ini akan sangat sulit tanpa bantuan beliau. Akhir kata, meskipun penulis menyadari bahwa jurnal ini memiliki kekurangan, penulis berharap hasilnya bermanfaat dan menjadi referensi yang berguna bagi pembaca di bidang yang relevan.

DAFTAR PUSTAKA

- Mwizerwa, Genevieve, and Joseph Akumuntu. "Effect of Warehousing Management on Supply Chain Performance: A Case of Inyange Industries Ltd." *African Journal of Empirical Research* 5.2 (2024): 358-370.
- Y.A. Nugroho and K.P.A. Pranata, "Penataan layout gudang penyimpanan consumer goods menggunakan metode shared storage," *Jurnal Cakrawala Ilmiah*, vol. 1, no. 4, pp. 597–604, 2021.
- MICHLOWICZ, Edward. Methodology of evaluating finished goods warehouse performance through lean methods. *Archives of Transport*, 2024, 70.2: 43-64.
- CARLI, Raffaele, et al. Sustainable scheduling of material handling activities in labor-intensive warehouses: A decision and control model. *Sustainability*, 2020, 12.8: 3111.
- ESHEIBA, Laila, et al. A data warehouse-based system for service customization recommendations in product-service systems. *Sensors*, 2022, 22.6: 2118.
- LARUTAMA, Wiku, et al. Implementation of Warehouse Management System Planning in Finished Goods Warehouse. *Journal of Logistics and Supply Chain*, 2022, 2.2: 81-90.
- Y. Prasetyawan, A.K. Simanjuntak, N. Rifqy, and L. Auliya, "Implementation of lean warehousing to improve warehouse performance of plastic packaging company," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 852, no. 1, 2020, doi: 10.1088/1757-899X/852/1/012101.
- K.A. Bonilla-Ramirez, P. Marcos-Palacios, J.C. Quiroz-Flores, E.D. Ramos-Palomino, and J.C. Alvarez-Merino, "Implementation of lean warehousing to reduce the level of returns in a distribution company," 2019 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM), pp. 886–890, 2019, doi: 10.1109/IEEM44572.2019.8978755.
- M.M. Hossain and G. Purdy, "Integration of industry 4.0 into lean production systems: a systematic literature review," *Manufacturing Letters*, vol. 35, pp. 1347–1357, 2023, doi: 10.1016/j.mfglet.2023.08.098.
- Y. Prasetyawan and N.G. Ibrahim, "Warehouse improvement evaluation using lean warehousing approach and linear programming," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 847, no. 1, 2020, doi: 10.1088/1757-899X/847/1/012033.
- VASHISHTH, Abhishek; CHAKRABORTY, Ayon; ANTONY, Jiju. Lean Six Sigma in financial services industry: a systematic review and agenda for future research. *Total Quality Management & Business Excellence*, 2019, 30.3-4: 447-465.
- K.B. Ackerman, *Lean warehousing*, Ackerman Publications, USA, 2007. [13] R. Martins, M.T. Pereira, L.P. Ferreira, J.C. Sá, and F.J.G. Silva, "Warehouse operations logistics improvement in a cork stopper factory," *Procedia Manuf.*, vol. 51, pp. 1723–1729, 2020, doi: 10.1016/j.promfg.2020.10.240.
- RUNGRUENGKULTORN, Pakkaporn; BOONSIRI, Somjai. Warehouse processes improvement using lean six sigma and RFID technology. *International Journal of Mathematics and Computer Science*, 2022, 17.3: 1175-1186.
- A.C. Cagliano, S. Grimaldi, and M. Schenone, "Proposing a new framework for lean warehousing: First experimental validations," *Proceedings of the XXIII Summer School "Francesco Turco"–Industrial Systems Engineering*, pp. 156–163, 2018.
- M. Perez-Morante, T. Donoso-Muñoz, E. Altamirano, and C. Del Carpio, "Model focused on increasing picking efficiency through lean and cycle counting," *Proceedings of the 7th International Conference on Industrial and Business Engineering*, pp. 32–37, 2021, doi: 10.1145/3494583.3494589.
- ROSSINI, Matteo, et al. Lean Production and Industry 4.0 integration: how Lean Automation is emerging in manufacturing industry. *International Journal of Production Research*, 2022, 60.21: 6430-6450.
- M.P. Ciano, P. Dallasega, G. Orzes, and T. Rossi, "One-to-one relationships between industry 4.0 technologies and lean production techniques: a multiple case study," *International Journal of Production Research*, vol. 59, no. 5, pp. 1386–1410, 2021, doi: 10.1080/00207543.2020.1821119.
- L.N. Tikwayo and T.N.D. Mathaba, "Applications of industry 4.0 technologies in warehouse management: a systematic literature review," *Logistics*, vol. 7, no. 2, pp. 1– 19, 2023, doi: 10.3390/logistics7020024.
- ROSSINI, Matteo, et al. Lean Production and Industry 4.0 integration: how Lean Automation is emerging in manufacturing industry. *International Journal of Production Research*, 2022, 60.21: 6430-6450.
- D. Powell, D. Romero, P. Gaiardelli, C. Cimini, and S. Cavalieri, "Towards digital lean cyber-physical production systems: industry 4.0 technologies as enablers of leaner production," *IFIP Adv. Inf. Commun. Technol.*, vol. 536, pp. 353–362, 2018, doi: 10.1007/978-3-319-99707-0_44.
- T. Ito, M.S. Abd Rahman, E. Mohamad, A.A. Abd Rahman, and M.R. Salleh, "Internet of things and

- simulation approach for decision support system in lean manufacturing,” *Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing*, vol. 14, no. 2, pp. 1–12, 2020, doi: 10.1299/jamdsm.2020jamdsm0027.
- V. Taghavi and Y. Beauregard, “The relationship between lean and industry 4.0: literature review,” *Proceedings of the 5th North American Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, pp. 808–820, 2020.
- M. Mahdavisarif, A.C. Cagliano, and C. Rafele, “Investigating the integration of industry 4.0 and lean principles on supply chain: a multi-perspective systematic literature review,” *Applie Sciences*, vol. 12, no. 2, 2022, doi: 10.3390/app12020586.
- I. Nevliudov, V. Yevsieiev, O. Klymenko, N. Demska, and M. Vzhesnievskiy, “Evolutions of group management development of mobile robotic platforms in warehousing 4.0.,” *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, vol. 4, no. 4 (18), pp. 57–64, 2021, doi: 10.30837/itssi.2021.18.057.
- Y.E. Kihel, A.E. Kihel, S. Embarki, “Optimization of the sustainable distribution supply chain using the lean Value stream mapping 4.0 tool: a case study of the automotive wiring industry,” *Processes*, vol. 10, no. 9, 2022.
- F.Z. Ben Moussa, R. De Guio, S. Dubois, I. Rasovska, and R. Benmoussa, “Study of an innovative method based on complementarity between ARIZ, lean management and discrete event simulation for solving warehousing problems,” *Computers & Industrial Engineering*, vol. 132, pp. 124–140, 2019, doi: 10.1016/j.cie.2019.04.024.
- H. Suciadi and D. Ishak, “Analysis of loading time improvement on finished product warehouse using lean six sigma and discrete event simulation,” *Proceedings of the 4th Asia Pacific Conference on Research in Industrial and Systems Engineering*, pp. 207–214, 2021, doi: 10.1145/3468013.3468333.
- J. Coronel-Vasquez, D. Huamani-Lara, A. Flores-Perez, M. Collao-Diaz, and J. Quiroz-Flores, “Logistics management model to reduce non-conforming orders through lean warehouse and JIT: a case of study in textile SMEs in Peru,” *Proceedings of the 2022 9th International Conference on Industrial Engineering and Applications*, pp. 19–24, 2022, doi: 10.1145/3523132.3523136.
- S.C. Espino-Sanchez, A.X. Vasquez-Ortiz, and J.C. Quiroz-Flores, “Increased 88 inventory turnover through a lean warehousing management model in SMEs suppliers to the food industry,” *8th International Engineering, Sciences and Technology Conference (IESTEC)*, pp. 25–31, 2022, doi: 10.1109/IESTEC54539.2022.00013.
- S. Abdoli, “Digital twin and Value stream mapping of warehousing in era of industry 4.0,” *Proceedings of the Conference on Production Systems and Logistics*, pp. 823–832, 2023, doi: 10.15488/13501.
- A.Z. Abideen, “An integration of lean and digital twin simulation modelling for warehouse material handling and optimization,” *14th Annual International Conference of Industrial Engineering and Operations Management*, 2024, doi: 10.46254/AN14.20240651.
- A. Vukićević, M. Mladineo, N. Banduka, and I. Mačuzić, “A smart warehouse 4.0 approach for the pallet management using machine vision and Internet of things (IoT): a real industrial case study,” *Advances in Production Engineering & Management*, vol. 16, no. 3, pp. 297–306, 2021, doi: 10.14743/apem2021.3.401.
- L. Ruales and D.A. Silitonga, “Optimizing logistic and warehousing - Maersk Drilling Norge AS,” *Master's thesis*, University of Stavanger, Norway, 2019.
- H. Bashir, S. Haridy, M. Shamsuzzaman, and I. Alsyouf, “Lean warehousing: a case study in a retail hypermarket,” *IEOM Society International*, pp. 1599-1607, 2020.
- P. Rungruengkultorn, “Warehouse processes improvement using lean six sigma and RFID technology,” *Master's Thesis*, Chulalongkorn University, 2021.
- A. Pipatprapa, “QR code on mobile platform for improving order picking process of lean factory warehouse,” *International Journal of Innovation, Management and Technology*, vol. 10, no. 1, pp. 56–60, 2019.
- P.G. Abhishek and M. Pratap, “Achieving lean warehousing through Value stream mapping,” *South Asian Journal of Business and Management Cases*, vol. 9, no. 3, pp. 387–401, 2020.
- D. Perkumienė, K. Ratautaitė, and R. Pranskūnienė, “Innovative solutions and challenges for the improvement of storage processes,” *Sustain.*, vol. 14, no. 17, 2022, doi: 10.3390/su141710616.
- D.S. Arief, I. Rasyid, A. Susilawati, Herisiswanto, and A.K. Junaidi, “Spare part warehouse system management at Jaya Utama Muda store using a computer based with Kanban barcode method,” *AIP Conference Proceedings*, vol. 3053, no. 1, 2024.
- D. Hrušecká, R. Adla, S. Krayem, and M. Pivnička, “Event-B model for increasing the efficiency of warehouse management,” *Polish J. Manag. Stud.*,

- vol. 17, no. 2, pp. 63– 74, 2018, doi: 10.17512/pjms.2018.17.2.06.
- M. Mutua, P. Ngugi, and R. Odhiambo, “Influence of lean warehousing practices on performance of large manufacturing firms in Kenya,” *Journal of International Business, Innovation and Strategic Management*, vol. 1, no. 8, pp. 41–57, 2018.
- M. Bevilacqua, F.E. Ciarapica, and S. Antomarioni, “Lean principles for organizing items in an automated storage and retrieval system: an association rule mining – based approach,” *Management and Production Engineering Review.*, vol. 10, no. 1, pp. 29– 36, 2019, doi: 10.24425/mper.2019.128241.
- O. Voronova, “Improvement of warehouse logistics based on the introduction of lean manufacturing principles,” *Transportation Research Procedia*, vol. 63, pp. 919–928, 2022, doi: 10.1016/j.trpro.2022.06.090.
- RAGHURAM, P.; SINGH, Abhijeet. Warehouse optimisation using demand data analytics-a case study-based approach. *International Journal of Business Information Systems*, 2020, 35.4: 519-538.
- MWIZERWA, Genevieve; AKUMUNTU, Joseph. Effect of Warehousing Management on Supply Chain Performance: A Case of Inyange Industries Ltd. *African Journal of Empirical Research*, 2024, 5.2: 358-370.
- D.A. de Jesus Pacheco, D. Møller Clausen, and J. Bumann, “A multi-method approach for reducing operational wastes in distribution warehouses,” *International Journal of Production Economics*, vol. 256, 2023, doi: 10.1016/j.ijpe.2022.108705.
- E. Chumpitaz-Martínez, A. Sanchez-Sotelo, and C. León-Chavarri, “Implementation of engineering techniques for reducing waste in Warehousing: A case study in a Peruvian food company,” *Proceedings of the LACCEI international Multi-conference for Engineering, Education and Technology*, pp. 1–8, 2022, doi: 10.18687/LEIRD2022.1.1.214.
- D. León-Vélez and D. Lynette, "Design and implementation of a warehouse management system," *Manufacturing Competitiveness*, 2023.
- D. Mourtzis, V. Samothrakis, V. Zogopoulos, and E. Vlachou, “Warehouse design and operation using augmented reality technology: a papermaking industry case study,” *Procedia CIRP*, vol. 79, pp. 574–579, 2019, doi: 10.1016/j.procir.2019.02.097.