

Peningkatan Efisiensi Rantai Pasok Material melalui Digitalisasi pada Proyek Konstruksi

Arif Rachman Putra¹, M. Iqbal Al-Maghribi², Wahyu Sukma R³, Rafly Maulana⁴, Didit Darmawan⁵

^{1,2,3,4,5}Universitas Sunan Giri Surabaya

arputra888.unsuri@gmail.com, dr.diditdarmawan@gmail.com

Published: February, 2026

ABSTRAK

Transformasi industri konstruksi di masa globalisasi dan Industry 4.0 menunjukkan peningkatan kompleksitas dalam rantai pasok bahan, serta kebutuhan akan kecepatan dan akurasi dalam pengambilan keputusan logistik. Meski demikian, sektor konstruksi masih mengalami masalah seperti fragmentasi dalam sistem kerja, kurangnya koordinasi antar pihak yang terlibat, dan keterbatasan dalam menerapkan teknologi informasi untuk pengadaan bahan. Penelitian ini bertujuan untuk meneliti bagaimana fragmentasi sistem kerja dan keterbatasan penggunaan teknologi informasi memengaruhi efisiensi pengelolaan rantai pasok bahan di proyek konstruksi. Penelitian menggunakan metode kualitatif dengan menganalisis publikasi ilmiah yang terkemuka selama dua dekade terakhir. Analisis dilakukan melalui sintesis tematik dan analisis perbandingan untuk mengevaluasi kondisi pengelolaan rantai pasok sebelum dan setelah penerapan teknologi informasi. Hasil menunjukkan bahwa sistem kerja yang terfragmentasi dan proses yang masih manual menyebabkan keterlambatan dalam pengadaan bahan, miskomunikasi antarpihak, kurangnya visibilitas dalam logistik, serta keputusan yang diambil lambat dan tidak akurat. Di sisi lain, penggunaan teknologi informasi seperti ERP, BIM, dan sistem berbasis cloud membantu meningkatkan integrasi data, mempercepat pengiriman informasi secara real-time, serta meningkatkan kecepatan dan akurasi dalam pengambilan keputusan logistik. Penelitian ini menekankan pentingnya digitalisasi dan kerja sama lintas pihak untuk meningkatkan efisiensi dan keberhasilan pengelolaan rantai pasok bahan pada proyek konstruksi modern.

Kata kunci: manajemen rantai pasok, pengadaan material, konstruksi, sistem informasi, digitalisasi, logistik, koordinasi

© The Author(s). 2021 Open Access This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. To view a copy of this licence, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>

PENDAHULUAN

Manajemen rantai pasokan serta otomatisasi gudang pada skala internasional menunjukkan perubahan yang signifikan dalam operasional perusahaan-perusahaan besar. Amazon, yang dikenal sebagai pelopor e-commerce di seluruh dunia, menerapkan teknologi Kiva System untuk mengotomatiskan berbagai tahapan di gudang, yang mencakup pengambilan, pemindaian, pengumpulan, dan pengemasan produk. Penerapan lebih dari 45.000 robot sejak tahun 2017 menghasilkan pengurangan biaya operasional sebesar 20% atau sekitar \$22 juta setiap tahun untuk setiap gudang, serta peningkatan kecepatan dalam pemrosesan pesanan. Dalam industri otomotif, Tesla mengembangkan rantai pasoknya melalui sistem Just-In-Time (JIT) yang terintegrasi dengan tingkat otomatisasi yang tinggi dan analisis data yang mendalam. Sistem berbasis komputer digunakan untuk mengerjakan tugas-tugas yang berulang, mengurangi kemungkinan terjadinya kesalahan manual, dan meningkatkan efisiensi dalam produksi. Di samping itu, otomatisasi juga diterapkan dalam pengelolaan stok, di mana Tesla memanfaatkan sistem canggih untuk memonitor dan mengatur setiap tahapan produksi secara terintegrasi. Penggunaan robot dan sistem otomatis tidak hanya meminimalkan kesalahan manusia dan mempercepat proses pembuatan, namun juga menjamin kelancaran dalam pasokan komponen. Akan tetapi, Tesla juga menghadapi tantangan yang muncul dari ketergantungan

pada teknologi dan kemungkinan gangguan dalam sistem yang dapat menghambat proses produksi (Wahyudi et al., 2025).

Dalam era globalisasi yang menuntut tingkat persaingan tinggi, sektor konstruksi mengalami percepatan signifikan dalam transformasi tata kelola rantai pasok. Kompetisi yang terjadi mendorong perusahaan konstruksi untuk melakukan pembaruan sistem pengadaan dan distribusi bahan bangunan agar mampu memenuhi tuntutan pasar yang semakin dinamis. Keterlambatan pengiriman material atau distribusi yang tidak efisien dapat berdampak besar pada keseluruhan proses eksekusi proyek. Eksistensi manajemen rantai pasok yang terorkestrasi secara baik menjadi penentu pencapaian kinerja waktu dan biaya proyek. Integrasi unsur-unsur dalam manajemen rantai pasok telah terbukti memberikan kontribusi nyata dalam dunia konstruksi, khususnya pada kelancaran aliran informasi dan material demi meraih ketepatan waktu pelaksanaan (Khalfan et al., 2004). Selain itu, penerapan manajemen risiko yang tepat dalam rantai pasok global menjadi penting untuk mengidentifikasi, mengevaluasi, dan memitigasi potensi gangguan yang dapat memengaruhi kelancaran distribusi material dan keberlanjutan proyek (Mardikaningsih et al., 2024). Di mana produktivitas pekerja proyek konstruksi menjadi faktor kunci untuk mencapai keselamatan dan kesehatan kerja yang memadai, karena hal ini memengaruhi kecepatan dan kualitas pelaksanaan tugas di lapangan (Darmawan, 2023).

Cakupan pengadaan material di dunia konstruksi sangat kompleks, melibatkan interaksi antara pelaku usaha yang berbeda latar belakang dengan kepentingan dan peran masing-masing. Menurut hasil penelitian Dainty et al. (2001), rantai pasok dalam konstruksi diwarnai segmentasi tinggi yang membuat arus logistik rawan terjadi stagnasi. Ketika penugasan antar lini tidak diperlakukan sebagai sebuah kesatuan terintegrasi, terdapat kecenderungan proses menjadi tidak sinkron. Implikasi yang muncul adalah sulitnya melakukan perencanaan secara komprehensif dan presisi dalam pengadaan serta distribusi bahan bangunan ke lokasi proyek. Fragmentasi dan komunikasi antarpihak yang terbatas menyebabkan material sulit sampai tepat waktu.

Transformasi digital, sebagaimana diangkat dalam riset Sajjad et al. (2023), telah membuka peluang baru dalam dunia konstruksi dengan pengadopsian teknologi digital pada seluruh lapisan manajemen proyek. Praktik digitalisasi rantai pasok yang konsisten mampu mendorong efisiensi, terutama di sektor pengadaan material yang kini semakin terdorong oleh otomasi serta kapabilitas analisis data real time. Teknologi informasi seperti sistem Enterprise Resource Planning (ERP) dan Building Information Modelling (BIM) berperan untuk mempercepat sirkulasi data secara simultan kepada seluruh pemangku kepentingan proyek. BIM berfungsi sebagai sumber informasi bersama yang dapat diandalkan sebagai dasar pengambilan keputusan selama siklus hidup bangunan, digunakan sebagai suatu metoda untuk mencapai satu atau beberapa tujuan yang spesifik (Pantiga & Soekiman, 2021).

Dalam situasi proyek berskala besar, tantangan semakin kompleks karena rentang geografis dan volume material yang harus dikelola lebih besar pula. Tuntutan terhadap ketepatan waktu pengiriman barang dan efisiensi logistik menjadi perhatian utama yang tidak dapat diabaikan. Dalam lanskap ini, lemahnya sistem koordinasi dan komunikasi antar pihak, seperti diuraikan McDermott dan Khalfan (2006), berujung pada meningkatnya potensi keterlambatan, pembengkakan biaya, dan penurunan kualitas proyek. Maka, pembahasan mengenai manajemen rantai pasok pada industri konstruksi menjadi sangat relevan seiring semakin tingginya ekspektasi terhadap kecepatan dan akurasi pengadaan.

Pada lingkup implementasi, terdapat sejumlah permasalahan fundamental yang kerap ditemui di bidang manajemen rantai pasok konstruksi. Pertama, fragmentasi sistem kerja dan lemahnya koordinasi antarsektor menjadi sumber utama ketidakefisienan dalam pemenuhan kebutuhan material. Briscoe dan Dainty (2005) menyebutkan bahwa hubungan antara pemasok, kontraktor utama, subkontraktor, hingga manajemen logistik sering berjalan dengan sistem dan prosedur yang terpisah sehingga terjadi inkonsistensi dalam alur informasi. Koordinasi yang terbatas ini menimbulkan celah berupa potensi keterlambatan pengiriman material ke lokasi.

Kedua, ketidakpastian permintaan material menjadi titik krusial lain yang memberi tekanan besar pada akurasi pengadaan. Perubahan spesifikasi teknis secara mendadak, revisi Purchase Order, atau faktor eksternal seperti cuaca ekstrem dan bencana alam memberikan tantangan signifikan yang

mempersulit pihak rantai pasok untuk menjaga kelancaran suplai. Radjawane dan Darmawan (2022) menekankan bahwa fluktuasi kebutuhan serta ketidakpastian lingkungan menuntut adanya sistem adaptif yang mampu merespons perubahan secara cepat.

Ketiga, mayoritas pelaku industri konstruksi masih mengandalkan proses manual atau sistem informasi terpisah sehingga pelacakan status pengadaan material sering kali terhambat. Shaikh & al. (2020) menyampaikan bahwa rendahnya tingkat adopsi sistem informasi terintegrasi akibat aspek finansial serta resistensi budaya organisasi menyebabkan pengambilan keputusan menjadi lambat dan kurang tepat. Ketiadaan visibilitas penuh terhadap rantai pasok memberikan ruang bagi inefisiensi dan meningkatnya risiko kegagalan distribusi material secara tepat waktu.

Keadaan ini makin terasa nyata dalam proyek berskala besar di mana kompleksitas pengelolaan rantai pasok meningkat. Jarak kerja yang sangat jauh, volume material masif, dan tuntutan koordinasi lintas kawasan membutuhkan mekanisme manajemen mutakhir yang mampu menyesuaikan dengan dinamika kecepatan proyek. Abdullah & al. (2021) menambahkan bahwa tanpa kelola yang adaptif, risiko pemborosan, kemacetan logistik, serta lonjakan biaya menjadi tak terelakkan.

Urgensi mencermati isu ini dapat terlihat jelas dari data kegagalan banyak proyek konstruksi yang bersumber dari kelemahan pada tahap pengadaan dan distribusi material. Ketepatan waktu pengiriman memiliki keterkaitan langsung terhadap keberhasilan timeline proyek, sehingga kelalaian dalam pengelolaan rantai pasok akan berdampak luas terhadap reputasi perusahaan serta kepuasan klien. Waktu juga dikenal sebagai periode waktu, dianggap sebagai salah satu komponen yang paling penting untuk memastikan bahwa proyek konstruksi berlangsung sampai akhir. Keterlambatan dalam proyek dapat terjadi karena beberapa faktor, seperti keterbatasan tenaga kerja, kurangnya pemahaman dalam perencanaan operasi konstruksi, dan ketidaksesuaian antara rencana proyek dan pelaksanaannya (Wahono & Prabowo, 2024). Karenanya kualitas lingkungan kerja dan kepemimpinan yang efektif turut memengaruhi produktivitas pekerja serta kelancaran operasional proyek konstruksi (Radjawane & Darmawan, 2022). Mengingat pengadaan material merupakan tahapan fundamental yang menjadi fondasi produktivitas konstruksi (Khalfan et al., 2004), maka pemahaman menyeluruh serta audit secara periodik terhadap sistem manajemen rantai pasok harus diupayakan terus menerus. Integritas dan kompetensi dalam pelaksanaan audit internal juga penting untuk memastikan kualitas pemantauan serta kepatuhan terhadap prosedur pengelolaan rantai pasok (Sinambela & Darmawan, 2022).

Efisiensi rantai pasok material dapat menjadi indikator utama kematangan organisasi konstruksi dalam era industri modern. Sejalan dengan transformasi digital dan peningkatan tekanan pasar, pemantauan serta evaluasi menyeluruh terhadap proses logistik menjadi keniscayaan untuk memastikan proyek berjalan efektif mulai dari tahap perencanaan hingga pelaksanaan. Integrasi sistem yang baik diyakini memiliki korelasi signifikan terhadap pencapaian tujuan proyek secara keseluruhan (Dainty et al., 2001). Kondisi tersebut menegaskan bahwa efektivitas organisasi, kualitas pengambilan keputusan manajerial, serta kesiapan sumber daya manusia merupakan elemen fundamental dalam mendukung kinerja operasional dan keberlanjutan organisasi proyek (Khasanah et al., 2010; Darmawan, 2013).

Rumusan masalah yang muncul dari pemaparan tersebut antara lain:

1. Bagaimana fragmentasi sistem kerja dan lemahnya koordinasi pada rantai pasok material proyek konstruksi dapat menimbulkan masalah keterlambatan pengadaan material serta inefisiensi logistik?
2. Bagaimana pengaruh keterbatasan teknologi informasi dalam proses pengadaan material terhadap kecepatan, keakuratan pengambilan keputusan logistik, dan keberhasilan proyek konstruksi?

Rumusan masalah tersebut menjadi pijakan utama dalam kajian ini, yaitu menelaah secara kritis pengaruh segmentasi sistem kerja, hambatan koordinasi, serta keterbatasan adopsi teknologi informasi terhadap dinamika pengadaan material pada sektor konstruksi. Penelitian ini bertujuan untuk memberikan pemahaman faktual mengenai peran integrasi manajemen rantai pasok untuk menunjang efisiensi logistik serta pencapaian tenggat waktu proyek. Hasil telaah ini diharapkan mampu menjadi rujukan akademik maupun praktis dalam penyusunan strategi pengelolaan rantai pasok konstruksi yang adaptif, responsif, dan produktif.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan teknik studi literatur sebagai landasan utama untuk menggali permasalahan integrasi manajemen rantai pasok dalam industri konstruksi. Studi literatur kualitatif memungkinkan peneliti untuk mengadopsi pemahaman yang kaya serta meninjau berbagai perspektif dari sumber-sumber tertulis berupa buku dan jurnal ilmiah internasional yang relevan. Permasalahan rantai pasok konstruksi dianalisis melalui eksplorasi data sekunder, baik primer maupun sekunder, dari publikasi terkini. Penggunaan pendekatan ini dinilai efektif untuk membedah relasi antara variabel-variabel yang diteliti, khususnya untuk menelaah hubungan fragmentasi sistem kerja, teknologi informasi, dan efisiensi logistik (Creswell & Creswell, 2018).

Tahapan penelitian mencakup proses identifikasi, seleksi, serta analisis tematik secara sistematis terhadap literatur yang dipublikasikan dalam dua dekade terakhir. Seleksi literatur dilakukan berdasarkan kriteria validitas, kredibilitas, dan relevansi dengan topik manajemen rantai pasok di sektor konstruksi. Peneliti menerapkan metode sintesis tematik, sebagaimana diuraikan oleh Braun dan Clarke (2006), yang memungkinkan penyusunan kategori tematik dari hasil penelusuran literatur. Data yang telah dikumpulkan kemudian dianalisis untuk menemukan pola, kecenderungan, serta gap penelitian yang belum terungkap sebelumnya. Proses review literatur ini difokuskan pada integrasi antarsektor, penggunaan teknologi, serta praktik pengadaan material yang berdampak pada kecepatan dan efisiensi logistik proyek.

Validitas hasil penelitian dijaga dengan cara melakukan triangulasi sumber dan membandingkan hasil analisis dari berbagai literatur. Studi banding dilakukan secara kritis dengan mengadopsi saran dari Yin (2018) untuk menilai keakuratan informasi serta memastikan bahwa kesimpulan yang diperoleh bersifat original dan faktual. Penggunaan pendekatan kualitatif studi literatur dikombinasikan dengan analisis tematik ini diharapkan mampu menyediakan gambaran komprehensif mengenai dinamika rantai pasok industri konstruksi serta memberikan landasan akademik untuk pengembangan penelitian lanjutan dan aplikasi praktis di lapangan.

Menurut Fanulene et al. (2022); Purwanto et al. (2021), pentingnya sistem penilaian kinerja organisasi harus tertuju pada hasil yang seharusnya dipandu oleh kepentingan para pemangku kepentingan. Dari perspektif manajemen tim, organisasi dengan kinerja didefinisikan sebagai proses evaluasi yang memberikan kemampuan bagi organisasi untuk menilai dan membandingkan berbagai aspek, termasuk tujuan, tren, keputusan masa lalu, serta proses dan produk lain yang ada. Oleh sebab itu, esensi dari kinerja organisasi terletak pada penciptaan nilai. Jika nilai yang dihasilkan dari aset yang diberikan sebanding atau lebih tinggi dari nilai yang diantisipasi, maka aset tersebut akan tetap tersedia bagi organisasi. Organisasi ini menjadi relevan untuk bertahan hidup dan terus bersaing di pasar. Karena itu, penciptaan nilai berfungsi sebagai elemen krusial dalam menetapkan kriteria kinerja secara keseluruhan untuk setiap organisasi. Sebelumnya, banyak peneliti yang telah menilai kinerja organisasi dengan menggunakan elemen keuangan dan non-keuangan, termasuk kriteria pasar seperti laba atas investasi (ROI), pangsa pasar, margin laba dari penjualan, pertumbuhan ROI, pertumbuhan penjualan, pertumbuhan pangsa pasar, serta posisi kompetitif secara keseluruhan (Assagaf et al., 2022) (Harsono & Kiswara, 2022)

Penerapan strategi efisiensi dalam pengelolaan rantai pasok halal di Indonesia menunjukkan hasil yang cukup signifikan, yang sejalan dengan konsep efisiensi dalam teori Lean dan Just-in-Time (JIT). Penggunaan teknologi digital dalam pelacakan bahan baku halal serta pengelolaan distribusi produk terbukti efektif dalam mengurangi pemborosan dan mempercepat proses distribusi. Temuan ini konsisten dengan studi sebelumnya, seperti penelitian yang dilakukan oleh (Wu & Zhang, 2021), yang menemukan bahwa digitalisasi dan pelacakan berbasis teknologi dalam rantai pasok makanan halal dapat meningkatkan efisiensi operasional. Sebaliknya, beberapa penelitian yang lebih skeptis terhadap adopsi teknologi dalam rantai pasok halal, seperti yang dilakukan oleh (Siti & Asyraf, 2021), mengemukakan bahwa penerapan teknologi di sektor UMKM di Indonesia masih terbatas, yang menyebabkan beberapa penghalang dalam pencapaian efisiensi maksimal. Hasil penelitian ini membuktikan bahwa penerapan teknologi dapat meningkatkan transparansi dan memastikan kehalalan

produk, yang pada gilirannya memperkuat kepercayaan konsumen. Relevansi strategi efisiensi ini dalam konteks Indonesia sangat penting mengingat besarnya pasar produk halal yang terus berkembang, didorong oleh jumlah populasi Muslim terbesar di dunia. Meskipun demikian, tantangan utama yang muncul adalah infrastruktur yang masih belum memadai dan ketidakteraturan dalam pengelolaan logistik yang berisiko merusak kualitas produk. Hasil penelitian ini mendukung temuan yang ada dalam penelitian oleh (Ali & Karim, 2020), yang menunjukkan bahwa di Indonesia, walaupun permintaan terhadap produk halal cukup besar, pengelolaan rantai pasok yang efektif masih belum optimal, strategi efisiensi yang diusulkan dalam studi ini sangat penting untuk meningkatkan daya saing sektor halal Indonesia, baik di pasar lokal maupun global dengan semakin pesatnya pertumbuhan platform digital dan teknologi logistik di Indonesia (Astiwara, 2023).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Fragmentasi Sistem Kerja dan Keterlambatan Pengadaan Material

Pembahasan tentang fragmentasi sistem kerja dan lemahnya koordinasi dalam rantai pasok proyek konstruksi telah lama menjadi sorotan di berbagai literatur manajemen proyek modern. Segmentasi kerja yang tinggi di dalam struktur rantai pasok menyebabkan berbagai entitas—seperti kontraktor utama, subkontraktor, pemasok, serta manajemen logistik—cenderung bekerja secara parsial dan kurang terkoordinasi secara sinergis. Hal ini diperkuat dalam penelitian Koolwijk et al. (2018) yang menyoroti struktur *project-based supply chains* di sektor konstruksi sering terjebak dalam model linear yang tidak responsif pada dinamika perubahan di lapangan. Dalam konteks konstruksi di Indonesia, tingkat fragmentasi yang tinggi dan kurangnya integrasi proses rantai pasok berkontribusi terhadap rendahnya efisiensi dan koordinasi antara berbagai pemangku kepentingan dalam proyek konstruksi (Fitrianto et al., 2020). Ketidakmampuan untuk menyatukan visi serta sistem kerja antar pemangku kepentingan mengakibatkan lambatnya aliran informasi yang fundamental dalam pengambilan keputusan tepat waktu.

Studi terdahulu oleh Cheng et al. (2010) menekankan bahwa keterlambatan pengadaan material sangat sering dipicu oleh miskomunikasi atau keterbatasan komunikasi antar pihak. Informasi mengenai kebutuhan spesifikasi, jadwal, serta volume pengadaan tidak tersalurkan dengan baik, sehingga berdampak pada munculnya *bottleneck* dalam tahapan distribusi. Hambatan komunikasi semacam ini biasanya terjadi pada fase transisi dokumen, revisi *Purchase Order*, atau perubahan kebutuhan teknis yang sangat bergantung pada respons cepat dari semua pihak dalam rantai pasok.

Selanjutnya, integrasi yang lemah antara sistem kerja konvensional dengan perkembangan aplikasi digital menambah kerumitan distribusi material pada proyek konstruksi masif. Khalfan et al. (2010) menunjukkan defisit pengetahuan bersama dan kurangnya mekanisme *knowledge sharing* menyebabkan sistem pengadaan material kehilangan peluang untuk memanfaatkan data terkini secara maksimal. Kondisi ini semakin buruk apabila proses pengambilan keputusan masih didominasi metode manual dan tanpa dukungan sistem informasi yang terhubung langsung dengan seluruh stakeholder.

Annan (2012) menegaskan bahwa tingginya tingkat segmentasi dalam proyek konstruksi tidak jarang menyebabkan terjadinya duplikasi proses, keterlambatan pelaporan, serta potensi backup distribusi material. Segala upaya koordinasi yang dilakukan tanpa struktur kerja bersama sama efektifnya dengan tidak ada koordinasi sama sekali. Kondisi tersebut pada akhirnya berujung pada terjadinya penumpukan material di gudang atau terputusnya rantai aliran barang ke lapangan, yang secara krusial menunda jadwal kerja lapangan. Fenomena ini menegaskan pentingnya efektivitas organisasi dan mekanisme koordinasi yang jelas sebagai faktor utama untuk memastikan kelancaran aliran material serta keberhasilan pelaksanaan proyek konstruksi (Darmawan, 2024).

Dalam penyelidikan lebih lanjut oleh Ali et al. (2020), faktor internal seperti budaya organisasi yang enggan berbagi informasi, serta preferensi kerja berdasarkan kepentingan sub-unit, semakin mempertajam sekat antara lini pengadaan. Situasi tersebut diperparah dengan resistensi terhadap implementasi sistem digitalisasi, yang ironisnya justru bisa menjadi solusi untuk menciptakan

keterhubungan real-time antar pihak. Akibatnya, jadwal pengiriman material menjadi tidak menentu, seringkali terjadi backlog yang menurunkan efisiensi dan kelancaran proyek secara luas.

Rincon-Guio et al. (2023) menambahkan bahwa segmentasi berlebihan sering diikuti ketergantungan pada pihak eksternal yang belum tentu memiliki standar operasional sama, sehingga kolaborasi yang diharapkan gagal mencapai harmonisasi. Koordinasi yang tidak berjalan baik dalam tingkat makro dan mikro membuat supply chain dalam konstruksi sangat rentan terhadap disruption. Efeknya, bukan saja keterlambatan dalam pengadaan, namun juga kenaikan biaya logistik akibat penyesuaian mendadak dan langkah-langkah recovery yang harus diambil mendadak.

Transformasi menuju kolaborasi sistemik sebenarnya telah mendapat momentum seiring kehadiran Industry 4.0 di sektor konstruksi, sebagaimana dijelaskan Balasubramanian et al. (2021). Akan tetapi, tingkat penetrasi implementasinya sangat variatif. Beberapa perusahaan adaptif sudah merasakan benefit berupa kelancaran distribusi material dan percepatan waktu pengerjaan. Namun, sebagian besar entitas konstruksi di negara berkembang masih tertinggal karena kekakuan struktur kerja dan minimnya kepercayaan lintas sektor (Oke et al., 2021).

Studi lain oleh Najafi et al. (2024) menyoroti bahwa fragmentasi organisasi memperbesar kemungkinan hilangnya data pesanan, terjadinya kesalahan alokasi material, dan even terburuknya—terjadinya kekosongan material di tengah proses produksi. Tanpa sinergi lintas fungsi, koperasi informasi dan kapabilitas responsif sangat sulit terwujud. Bahkan, timetable proyek akan semakin tidak dapat diprediksi apabila faktor global seperti supply shock atau perubahan harga bahan baku merembet sampai lini distribusi.

Vrchota et al. (2020) menerangkan, terkait transformasi digital dan sustainability, ketidaksinkronan sistem kerja dan lemahnya koordinasi menyebabkan pula ketidakmampuan perusahaan untuk melakukan prediksi volume material yang dibutuhkan. Over-ordering dan under-ordering sama-sama berdampak pada biaya tinggi dan keterlambatan. Upaya integrasi rantai pasok membutuhkan kesamaan persepsi, pembagian tanggung jawab yang jelas, serta keterbukaan dalam hal data critical path agar sistem pengadaan dapat berjalan simultan tanpa tumpang tindih.

Varela dan Radjawane (2024) menyoroti pentingnya standarisasi komunikasi serta dokumentasi antar tim multidisiplin dalam proyek konstruksi berskala besar. Ketika pola komunikasi sudah terstandar, peluang terjadinya konflik informasi turun drastis. Alur distribusi material berjalan lebih lancar, dan keakuratan penjadwalan pengiriman meningkat signifikan.

Amri dan Putra (2022) mengemukakan bahwa keterlambatan dalam proses logistik tak hanya disebabkan faktor mekanikal dan teknis, tetapi juga karena pola koordinasi yang belum mengutamakan transparansi serta monitoring yang real-time. Implementasi sistem pelacakan otomatis, dashboard integratif, dan platform berbasis data mampu menjadi solusi, namun masih dihadapkan pada kendala adopsi, biaya awal, serta kesiapan sumber daya manusia yang terbatas.

Keterbatasan teknologi informasi dalam mengelola rantai pasok konstruksi memengaruhi cara para pihak terlibat bekerja sama secara efektif, seperti kontraktor utama, subkontraktor, pemasok bahan, dan tim manajemen proyek. Menurut Chen et al. (2022), di banyak proyek konstruksi, pertukaran informasi masih menggunakan cara manual dan aplikasi yang berbeda, sehingga data terkait pembelian, jadwal pengiriman, serta perubahan kebutuhan bahan tidak bisa diperbarui secara langsung. Situasi ini menyebabkan adanya ketidakseimbangan informasi, di mana sebagian pihak menerima informasi yang terlambat atau tidak lengkap, sedangkan pihak lain membuat keputusan berdasarkan data yang sudah kadaluarsa. Selaras dengan penemuan tersebut, Cheng et al. (2010) menegaskan bahwa kurangnya sistem informasi yang terintegrasi merupakan salah satu penyebab utama terjadinya kesalahpahaman dan hambatan dalam koordinasi rantai pasok konstruksi, terutama pada proyek yang melibatkan banyak pihak dan memiliki tingkat kompleksitas yang tinggi.

Seperti yang diungkapkan oleh Dainty et al. (2001), kurangnya dukungan teknologi informasi memengaruhi rendahnya efektivitas komunikasi antar organisasi dalam proyek konstruksi. Perbedaan platform yang digunakan oleh kontraktor, subkontraktor, dan pemasok, serta ketiadaan sistem digital

yang memadai, menyebabkan proses memverifikasi dokumen pembelian, mengonfirmasi spesifikasi, dan memperbarui status pengiriman menjadi lambat dan berisiko kesalahan. Sesuai dengan hal tersebut, ketidakselarasan koordinasi antar pemangku kepentingan dalam proyek konstruksi sering kali disebabkan oleh aliran informasi yang terbatas serta rendahnya integrasi dan pengawasan data proyek, yang berdampak pada pengambilan keputusan kolektif dan meningkatkan risiko konflik operasional (Studer & De Brito Mello, 2021; Mei et al., 2023; Sun, 2025).

Dari perspektif sistem informasi konstruksi, Maskuriy et al. (2019) menjelaskan bahwa adopsi platform kolaborasi digital yang terbatas menyebabkan data terpecah dan komunikasi antar pihak dalam proyek menjadi terputus. Kondisi ini membuat informasi tidak selaras, yang berdampak langsung pada berjalannya proyek, seperti terlambatnya pengiriman material, kesalahan dalam perhitungan volume bahan yang dibutuhkan, serta ketidaksesuaian antara jadwal pekerjaan di lapangan dengan ketersediaan bahan yang sesungguhnya (Segerstedt & Olofsson, 2010). Tanpa sistem informasi yang terpadu, setiap perubahan kebutuhan proyek memerlukan waktu lebih lama untuk disampaikan ke semua pihak, sehingga respons dari berbagai pihak tidak sejalan dan meningkatkan risiko proyek terlambat secara keseluruhan (Cheng et al., 2010).

Pada tataran praktik, upaya mengurangi fragmentasi masih dihambat arsitektur organisasi yang hierarkis, sehingga pengambilan keputusan berjalan lambat. Ketidakjelasan peran dan distribusi tanggung jawab juga menambah beban manajerial ketika terjadi revisi desain atau kebutuhan mendesak bahan baku. Ketidakjelasan otoritas serta kelemahan mekanisme *feedback* menjadi pemicu utama berulangnya keterlambatan.

Berdasarkan keseluruhan paparan sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa fragmentasi sistem kerja beserta lemahnya koordinasi memperpanjang waktu siklus distribusi material dan mengurangi efektivitas logistik proyek konstruksi. Penanganan masalah-masalah struktural tersebut menuntut terobosan pada aspek integrasi digital, budaya kerja berbasis kolaborasi, dan restrukturisasi komunikasi internal sehingga distribusi material dan logistik menjadi lebih adaptif serta efisien.

Keterbatasan Teknologi Informasi dalam Pengadaan Material

Keterbatasan pada adopsi teknologi informasi dalam ranah pengadaan material konstruksi menjadi salah satu penyebab paling dominan dalam terhambatnya kecepatan serta keakuratan dalam pengambilan keputusan logistik, yang pada akhirnya sangat memengaruhi tingkat keberhasilan sebuah proyek konstruksi. Studi Segerstedt dan Olofsson (2010) menegaskan bahwa penggunaan sistem manual pada pengelolaan rantai pasok menyebabkan arus informasi menjadi lambat dan seringkali tidak akurat. Hal ini berdampak sistemik karena data mutakhir mengenai ketersediaan stok, kebutuhan logistik, dan status pengiriman material tidak dapat dilacak secara *real-time*. Akibatnya, ketika perubahan kebijakan atau kebutuhan pasar menuntut respons cepat, rantai informasi yang terputus berdampak pada keterlambatan aksi di lapangan.

Menegon dan da Silva Filho (2023) mengidentifikasi bahwa keterbatasan teknologi informasi berdampak pada minimnya transparansi pengelolaan data. Dalam banyak kasus, keputusan terkait pengadaan material diambil berdasarkan prakiraan bukan pada data aktual. Integrasi teknologi informasi yang kurang optimal dalam manajemen rantai pasok menghambat aliran data *real-time* yang akurat sehingga menurunkan efektivitas pengambilan keputusan dan respons terhadap dinamika kebutuhan material (Jamalan et al., 2024). Paradigma ini menyebabkan berbagai risiko, seperti *overstock* maupun kekurangan material pada saat krusial, sehingga meningkatkan inefisiensi sumber daya. Ketika pengambilan keputusan tidak berbasis data *real-time*, kecepatan untuk merespons perubahan kebutuhan proyek menjadi sangat rendah, sehingga rentan terjadi misalokasi logistik. Pemanfaatan teknologi digital dapat meningkatkan akurasi peramalan serta respons rantai pasok terhadap perubahan kebutuhan material, sehingga mengoptimalkan kinerja dan efisiensi operasional (Putra & Arifin, 2021).

Dalam penelitian Chen et al. (2022), terungkap bahwa sistem manual yang masih digunakan secara luas di industri konstruksi menyebabkan terjadinya *bottleneck* pada saat data harus dikompilasi dari

berbagai divisi. Keterlambatan penginputan data, kealpaan dalam pembaruan informasi, serta kendala validasi dokumen memperbesar peluang terjadinya salah pengiriman atau kehilangan informasi kritis terkait kebutuhan proyek. Kekurangan ini semakin nyata ketika volume material dan jumlah pemangku kepentingan kian bertambah dengan bertambahnya skala proyek.

Podgyrska (2022) menunjukkan bahwa tidak adanya integrasi antara sistem informasi di berbagai perusahaan menyebabkan kesulitan untuk memvalidasi status pesanan dan riwayat transaksi logistik secara lintas platform. Informasi yang terkotak-kotak menyulitkan pembuatan rekam jejak digital yang andal, sehingga ketika terjadi klaim keterlambatan atau kebutuhan penyesuaian segera, tidak ada data solid untuk mendukung keputusan yang tepat dan cepat.

Implementasi teknologi digital seperti Building Information Modeling (BIM) dan Enterprise Resource Planning (ERP) memang mulai marak diperkenalkan pada sejumlah perusahaan besar. Dengan cara integrasi Building Information Modeling (BIM) beberapa aplikasi gambar yang kemudian akan digabungkan dengan data estimasi dan data penjadwalan proyek. BIM merupakan suatu metode yang dapat meningkatkan efektivitas dan efisiensi pelaksanaan pekerjaan konstruksi (Paikun et al., 2022). Namun, Gautama et al. (2021) mencatat bahwa tingkat adopsinya di sebagian besar perusahaan konstruksi masih terbatas akibat kekhawatiran atas biaya investasi awal, kurangnya pengetahuan teknis, dan resistensi budaya organisasi terhadap inovasi. Akibat rendahnya tingkat pemanfaatan, manfaat utama—seperti monitoring logistik secara real-time dan kolaborasi dokumen lintas software—belum terasa optimal.

Rasheed et al. (2024) menekankan bahwa pembaruan data logistik yang lamban dapat memicu terjadinya misplanning alokasi tenaga kerja dan alat berat. Jika sistem pelacakan pengadaan tidak berjalan optimal, misalnya akibat backlog penginputan, update status pengiriman material sering terlambat sehingga proses di lapangan tidak bisa direncanakan secara presisi. Dalam jangka panjang, kondisi ini dapat memicu efek domino berupa penundaan seluruh rantai aktivitas di proyek konstruksi.

Putra dan Arifin (2021) menyoroti bahwa digitalisasi dalam rantai pasok modern mempercepat proses pertukaran data, memungkinkan pemangku kepentingan mengambil keputusan berbasis analitik yang valid. Namun ketidakmerataan digitalisasi membuat gap besar antara perusahaan yang sudah menerapkan teknologi mutakhir dengan yang masih konvensional. Dalam praktik, proyek dengan adopsi teknologi informasi cenderung mampu melakukan forecasting kebutuhan material secara lebih akurat sehingga pengelolaan logistik berjalan lebih adaptif.

Chen et al. (2022) membuktikan bahwa penerapan sistem berbasis cloud dapat membantu pelacakan dokumen pengadaan, manajemen inventaris, bahkan deteksi kendala distribusi sejak dini. Sistem terhubung ini membuat setiap perubahan pesanan atau revisi desain dapat segera direspons, meminimalkan potensi miskomunikasi dan pengulangan proses yang memakan waktu serta biaya.

Menurut Maskuriy et al. (2019), pengembangan platform digital yang terintegrasi merupakan kunci dalam harmonisasi pengelolaan data lintas tim proyek. Sistem informasi dengan kapabilitas pelaporan otomatis dan dasbor visual mempermudah manajer logistik dan proyek untuk mengambil keputusan berbasis data empiris, tidak lagi mengandalkan intuisi atau pengalaman semata. Kehandalan sistem inilah yang pada akhirnya mendorong tingkat keberhasilan pelaksanaan proyek secara keseluruhan.

Amri dan Putra (2022) menyiratkan bahwa pada proyek skala besar, integrasi sistem digital di berbagai lini pengadaan terbukti meningkatkan akurasi dalam pengaturan jadwal dan pengelolaan anggaran. Ketika seluruh pemangku kepentingan dapat mengakses informasi secara serentak, pemantauan progres material lebih efisien dan langkah antisipasi bisa dirumuskan secara proaktif. Penerapan sistem ERP dan BIM, diiringi pelatihan sumber daya manusia, memperkecil peluang mismanagement yang kerap terjadi dalam proses logistik manual. Oleh karena itu, penerapan otomasi perlu diiringi dengan redesign pekerjaan serta penguatan kompetensi tenaga kerja digital agar transformasi teknologi dapat berjalan efektif dan berkelanjutan (Darmawan, 2025).

Dari uraian di atas, dapat dipahami bahwa keterbatasan pada teknologi informasi membawa dampak luas mulai dari inefisiensi waktu, rendahnya akurasi pengambilan keputusan, hingga risiko

pembengkakan biaya dan gagal target ekspedisi material. Tantangan ini semakin nyata di tengah tuntutan percepatan proyek dan kompleksitas rantai pasok multi-level yang umumnya ditemukan pada proyek berskala besar.

Kondisi tersebut menuntut adanya percepatan transformasi digital, penguatan literasi teknologi di kalangan pekerja, serta sinergi lintas organisasi agar pengelolaan logistik dan pelacakan pengadaan dapat berjalan simultan. Keberhasilan proyek konstruksi ke depan sangat ditentukan oleh kemampuan adaptasi pada sistem manajemen berbasis data dan adopsi inovasi teknologi sebagai fondasi utama efisiensi rantai pasok material. Jika digitalisasi tetap stagnan, dampaknya bukan hanya pada ketidakakuratan pengiriman, melainkan juga memperbesar celah terjadinya kegagalan proyek dalam skala yang lebih luas. Selain itu, penerapan inovasi hijau, pengelolaan rantai pasok yang adaptif, dan peningkatan kapabilitas teknologi terbukti berkontribusi terhadap kinerja bisnis yang lebih efisien dan berkelanjutan (Mardikaningsih, 2024).

Hasil dari analisis komparatif menunjukkan bahwa penerapan teknologi informasi (TI) secara signifikan meningkatkan efisiensi dalam pengelolaan rantai pasok, terutama terkait dengan kecepatan dan ketepatan dalam proses pengambilan keputusan. Sebelum TI diterapkan, proses pengambilan keputusan bersifat reaktif, mengandalkan data historis yang terpisah-pisah, serta kurang terhubung antar fungsi, yang menyebabkan respons operasional menjadi lambat dan meningkatkan kemungkinan terjadinya kesalahan data (Syafitri et al., 2025). Kondisi ini menyebabkan ketidakakuratan data persediaan, di mana jumlah fisik barang tidak sesuai dengan sistem, sehingga menurunkan akurasi perencanaan persediaan dan efektivitas koordinasi distribusi (Fleisch & Tellkamp, 2005).

Setelah mengimplementasikan teknologi informasi seperti sistem ERP, komputasi awan, dan analisis data, perusahaan bisa mendapatkan informasi secara langsung, yang mempercepat proses pengambilan keputusan dan mengurangi tingkat kesalahan dalam pengelolaan data operasional (Syafitri et al., 2025). Digitalisasi rantai pasok meningkatkan keterlihatan serta kualitas informasi secara real time, sehingga perusahaan dapat mengambil keputusan yang lebih tepat dan responsif terhadap perubahan permintaan maupun gangguan operasional (Bramantyo & Yasin, 2025). Transformasi digital juga berdampak pada perubahan struktur tugas dan pola kerja tenaga kerja, sehingga menuntut penyesuaian arsitektur pekerjaan agar selaras dengan sistem otomatis dan berbasis data (Triono et al., 2025). Oleh karena itu, perbandingan antara kondisi sebelum dan sesudah penerapan teknologi informasi menunjukkan bahwa TI memiliki peran penting dalam memperbaiki kualitas dan keandalan pengambilan keputusan dalam pengelolaan rantai pasok.

PENUTUP

Berdasarkan hasil pembahasan dan analisis banding yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa efisiensi dalam mengelola rantai pasok material di proyek konstruksi sangat tergantung pada tingkat kerja sama antar tim dan penggunaan teknologi informasi. Tidak adanya kerja sama yang baik antar pihak yang terlibat, seperti kontraktor utama, subkontraktor, pemasok, dan manajemen proyek, merupakan penyebab utama terjadinya keterlambatan pengadaan material, kesalahpahaman dalam komunikasi, serta kurangnya kepastian dalam pengambilan keputusan logistik. Situasi ini semakin sulit dikendalikan karena pengelolaan pengadaan masih menggunakan cara manual dan aplikasi yang tidak terhubung, sehingga informasi terpecah, tidak selalu up-to-date, dan sulit diakses secara bersamaan.

Analisis banding menunjukkan perbedaan yang jelas antara kondisi sebelum dan setelah penggunaan teknologi informasi. Dalam kondisi sebelum adopsi teknologi, pengambilan keputusan logistik cenderung mundur, lambat, dan bergantung pada data lama yang tidak terpusat, sehingga meningkatkan risiko kesalahan dalam perencanaan, ketidaksesuaian distribusi material, serta terjadinya pengeluaran biaya yang tidak terduga. Sebaliknya, dengan menerapkan teknologi informasi seperti ERP, BIM, dan sistem berbasis data, visibilitas rantai pasok menjadi lebih baik, pertukaran informasi bisa dilakukan secara cepat dan real-time, serta perencanaan dan koordinasi antar pihak lebih akurat.

Dengan dukungan teknologi digital, pengambilan keputusan manajerial menjadi lebih cepat, lebih terbuka pada data terkini, dan mampu mengantisipasi hambatan logistik sejak awal.

Implikasi dari temuan ini tidak sekadar menjadi refleksi teoretis, melainkan juga mendorong pergeseran paradigma tata kelola konstruksi menuju model yang lebih adaptif dan berbasis data. Industri diharuskan menyesuaikan diri dengan perkembangan teknologi, memperkuat literasi digital seluruh aktor rantai pasok, serta menata kembali pola koordinasi dan komunikasi internal. Praktik penggunaan sistem digital seperti ERP, BIM, dan dashboard berbasis cloud harus didorong secara menyeluruh agar dapat menjembatani kesenjangan arus informasi dan mengeliminasi kemungkinan backlog logistik. Organisasi juga disarankan untuk memperluas investasi pada SDM, memastikan setiap pemangku kepentingan mampu menyesuaikan diri dengan kebaruan teknologi serta tuntutan disrupsi di masa mendatang.

Saran yang dapat diajukan yaitu perlunya komitmen lintas organisasi untuk mempercepat digitalisasi proses pengadaan material, membangun sistem komunikasi transparan dan real-time, serta merancang infrastruktur teknologi informasi yang terintegrasi di semua lini proyek. Peningkatan kompetensi teknologi di level operasional maupun strategis harus menjadi agenda prioritas, diiringi audit internal secara berkala terhadap setiap mata rantai logistik. Selain itu, manajemen risiko dan standarisasi prosedur komunikasi dapat diadaptasi secara progresif untuk memastikan kelancaran setiap tahap pengadaan material hingga pengiriman ke lokasi konstruksi.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M. H. A. B., Gardi, B., & Darmawan, D. (2021). Innovation in Human Resource Management to Enhance Organizational Competitiveness in the Era of Globalization. *Journal of Social Science Studies*, 1(1), 51–58.
- Ali, Y., Saad, T. B., Sabir, M., Muhammad, N., Salman, A., & Zeb, K. (2020). Integration of Green Supply Chain Management Practices in Construction Supply Chain of CPEC. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 31(1), 185–200.
- Amri, M. W. & Putra, A. R. (2022). Project Management Techniques to Improve Construction Workers' Efficiency and Productivity, *Journal of Social Science Studies*, 2(2), 177–182.
- Annan, C. D. (2012). Improved Integration in Construction Supply Chain. *International Journal of Construction Project Management*, 4(2), 107–123.
- Assagaf, I. P. A., Yaqin, R. I., & Prasetyo, A. B. (2022). Studi Numerik Aliran Taylor Vortex Turbulent dengan Pengaruh Gradien Temperatur. *Journal of Energy, Materials, & Manufacturing Technology*, 1(01), 12–17.
- Astiwaru, E. M. (2023). Strategi Efisiensi dalam Pengelolaan Rantai Pasok Halal. *Journal of Scientech Research and Development*, 5(2), 1247–1264.
- Balasubramanian, S., Shukla, V., Islam, N., & Manghat, S. (2021). Construction Industry 4.0 and Sustainability: An Enabling Framework. *IEEE transactions on engineering management*, 71, 1–19.
- Bramantyo, D., & Yasin, M. (2025). Digitalisasi Rantai Pasok dan Efeknya terhadap Efisiensi Produksi dalam Sektor Industri. *Jurnal Riset Ekonomi dan Akuntansi*, 3(4), 110–122.
- Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using Thematic Analysis in Psychology. *Qualitative Research in Psychology*, 3(2), 77–101.
- Briscoe, G., & Dainty, A. (2005). Construction Supply Chain Integration: An Elusive Goal?. *Supply chain management: an international journal*, 10(4), 319–326.

- Chen, Y., Huang, D., Liu, Z., Osmani, M., & Demian, P. (2022). Construction 4.0, Industry 4.0, and Building Information Modeling (BIM) for Sustainable Building Development within the Smart City. *Sustainability*, 14(16), 10028.
- Cheng, J. C., Law, K. H., Bjornsson, H., Jones, A., & Sriram, R. (2010). A Service Oriented Framework for Construction Supply Chain Integration. *Automation in construction*, 19(2), 245-260.
- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2018). *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches* (5th ed). SAGE Publications, Los Angeles.
- Dainty, A. R. J., Millett, S. J., & Briscoe, G. H. (2001). New Perspectives on Construction Supply Chain Integration. *Supply Chain Management: An International Journal*, 6(4), 163-173.
- Dainty, A. R., Millett, S. J., & Briscoe, G. H. (2001). New Perspectives on Construction Supply Chain Integration. *Supply chain management: an international journal*, 6(4), 163-173.
- Darmawan, D. (2013). *Prinsip Prinsip Perilaku Organisasi*. Pena Semester - PT. JePe Press Media Utama, Surabaya.
- Darmawan, D. (2023). Dampak Stres, Supervisi dan K3 Terhadap Produktivitas Pekerja Proyek Konstruksi. *Journal of Civil Engineering Building and Transportation*, 7(1), 138-145.
- Darmawan, D. (2024). Distribution of Six Major Factors Enhancing Organizational Effectiveness. *Journal of Distribution Science*, 22(4), 47-58.
- Darmawan, D. (2025). Job Redesign, Automation, and Digital Workforce Competencies in the Twenty-First Century. *Bulletin of Science, Technology and Society*, 4(3), 103-114.
- Fitrianto, T., Wibowo, M. A., & Hatmoko, J. U. D. (2020). Pengukuran Kinerja Supply Chain pada Konstruksi Gedung Bertingkat dengan Menggunakan Pendekatan Metode SCOR (Supply Chain Operations Reference). *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 26(1), 26-35.
- Fleisch, E. & Tellkamp, C. (2005). Inventory Inaccuracy and Supply Chain Performance: A Simulation Study of a Retail Supply Chain. *International Journal of Production Economics*, 95(3), 373-385.
- Gautama, E. C., Mardikaningsih, R., Wisnujati, N. S., & da Cruz, C. (2021). The Relationship between Employee Welfare and Public Organization Performance in Community Services. *Journal of Social Science Studies*, 1(2), 197-202.
- Harsono, H., & Kiswara, G. J. (2022). Pengaruh Rantai Pasokan Digital pada Kinerja Organisasi: Studi Empiris di Industri Pertahanan. *Journal of Industrial Engineering & Management Research*, 3(6), 80-90.
- Jamal, R., Ikhval, A. A., Nisa, N. A., Qulbi, S. H., & Arifin, M. U. (2024). Penggunaan Teknologi Informasi dalam Mengoptimalkan Supply Chain Management. *Jurnal Inovasi Global*, 2(7), 737-750.
- Khalfan, M. M., Kashyap, M., Li, X., & Abbott, C. (2010). Knowledge Management in Construction Supply Chain Integration. *International Journal of Networking and Virtual Organisations*, 7(2-3), 207-221.
- Khalfan, M., McDermott, P., & Cooper, R. (2004). Integrating the Supply Chain within Construction Industry. In *20th Annual ARCOM Conference*, 2(1), 897-904.
- Khasanah, H., S. Arum, & D. Darmawan. (2010). *Pengantar Manajemen Bisnis*. Spektrum Nusa Press, Jakarta.
- Koolwijk, J. S. J., van Oel, C. J., Wamelink, J. W. F., & Vrijhoef, R. (2018). Collaboration and Integration in Project-Based Supply Chains in the Construction Industry. *Journal of management in engineering* 34(3), 04018001-040180013.

- Mardikaningsih, R. (2024). Implementation of Green Innovation, Supply Chain Management and Technology Capability on Business Performance of Micro, Small and Medium Enterprises. *ARRUS Journal of Social Sciences and Humanities*, 4(4), 467-480.
- Mardikaningsih, R., Halizah, S. N., Nuraini, R., Darmawan, D., & Hardyansah, R. (2024). Manajemen Risiko Pada Penerapan Manajemen Rantai Pasokan Global: Kajian Terhadap Pendekatan Strategis Untuk Mengidentifikasi, Mengevaluasi, dan Mengelola Risiko. *Yos Soedarso Economic Journal (YEJ)*, 6(2), 1-15.
- Maskuriy, R., Selamat, A., Maresova, P., Krejcar, O., & David, O. O. (2019). Industry 4.0 for the Construction Industry: Review of Management Perspective. *Economics*, 7(3), 1-14.
- McDermott, P., & Khalfan, M. (2006). Achieving Supply Chain Integration within Construction Industry. *Construction Economics and Building* 6(2), 44-54.
- Mei, T., et al. (2023). Influence Mechanism of Construction Supply Chain Information Collaboration Based on Structural Equation Model. *Sustainability*, 15(3), 2155.
- Menegon, J., & da Silva Filho, L. C. P. (2023). The Impact of Industry 4.0 Concepts and Technologies on Different Phases of Construction Project Lifecycle: A Literature Review. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering* 47(3), 1293-1319.
- Najafi, M., Sheikhhoshkar, M., & Rahimian, F. (2024). Innovation and Lean Practices for Sustainable Construction Project Management; Emerging Technologies, Strategies and Challenges. *Smart and Sustainable Built Environment*, 13(3), 473-478.
- Oke, A. E., Aigbavboa, C., Stephen, S. S., & Thwala, W. D. (2021). *Sustainable Construction in the Era of the Fourth Industrial Revolution*. Routledge, London.
- Paikun, I. P. M., Rozandi, A., Budiman, D., Ramdani, I., & Vladimirovna, K. E. (2022). Implementasi Building Information Modeling (BIM) pada Proyek Perumahan. *Jurnal TESLINK: Teknik Sipil dan Lingkungan*, 4(1), 1-15.
- Pantiga, J., & Soekiman, A. (2021). Kajian Literatur Implementasi Building Information Modeling (BIM) di Indonesia. *Rekayasa Sipil*, 15(2), 104-110.
- Podgryska, M. (2022). Challenges and Perspectives in Innovative Projects Focused on Sustainable Industry 4.0 a Case Study on Polish Project Teams. *Sustainability*, 14(9), 5334.
- Putra, A. R., & Arifin, S. (2021). Supply Chain Management Optimization in the Manufacturing Industry through Digital Transformation: The Role of Big Data, Artificial Intelligence, and the Internet of Things. *Journal of Social Science Studies*, 1(2), 161-166.
- Putra, A. R., & Arifin, S. (2021). Supply Chain Management Optimization in the Manufacturing Industry through Digital Transformation: The Role of Big Data, Artificial Intelligence, and the Internet of Things. *Journal of Social Science Studies*, 1(2), 161-166.
- Radjawane, L. E. & Darmawan, D. (2022). Construction Project Worker Satisfaction Reviewing from the Role of the Work Environment and Leadership, *International Journal of Service Science, Management, Engineering and Technology*, 1(3), 36-40.
- Radjawane, L. E., & Darmawan, D. (2022). Construction Project Worker Satisfaction Reviewing from the Role of the Work Environment and Leadership. *International Journal of Service Science, Management, Engineering and Technology*, 1(3), 36-40.
- Rasheed, K., Saad, S., Ammad, S., & Bashir, M. T. (2024). *Industry 4.0 and construction*. In *AI in Material Science* CRC Press, Boca Raton.
- Rincon-Guio, C., Hernández-Ramírez, J., Martínez, C. M. O., Ponce, M. S. P., Baque-Cantos, M. A., Santistevan-Villacreses, K. L., ... & Medina, L. (2023). A Systematic Literature Review on

Advances, Trends and Challenges in Project Management and Industry 4.0. *LogForum*, 19(2), 225-244.

- Sajjad, M., Hu, A., Waqar, A., Falqi, I. I., Alsulamy, S. H., Bageis, A. S., & Alshehri, A. M. (2023). Evaluation of The Success of Industry 4.0 Digitalization Practices for Sustainable Construction Management: Chinese Construction Industry. *Buildings*, 13(7), 1668.
- Segerstedt, A., & Olofsson, T. (2010). Supply Chains in the Construction Industry. *Supply Chain Management: An International Journal*, 15(5), 347-353.
- Segerstedt, A., & Olofsson, T. (2010). Supply Chains in the Construction Industry. *Supply Chain Management: An International Journal*, 15(5), 347-353.
- Shaikh, F. A., Shahbaz, M. S., Din, S. U., & Odhano, N. (2020). The Role of Collaboration and Integration in the Supply Chain of Construction Industry. *Civil engineering journal*, 6(7), 1300-1313.
- Sinambela, E. A., & Darmawan, D. (2022). Peran Integritas dan Kompetensi terhadap Kualitas Audit. *Realible Accounting Journal*, 1(2), 8-15.
- Studer, W. P., & De Brito Mello, L. C. (2021). Core Elements Underlying Supply Chain Management in the Construction Industry: A Systematic Literature Review. *Buildings*, 11(12), 569.
- Sun, Y. (2025). Information Sharing Barriers of Construction Projects. *Buildings*, 15(15), 2744.
- Syafitri, R., Sihombing, V., & Bangun, B. (2025). Studi Komparatif Penggunaan Teknologi Informasi dalam Manajemen Rantai Pasok di Industri Manufaktur. *Jurnal Sistem Informasi, Teknik Komputer dan Teknologi Pendidikan (JUSTIKPEN)*, 4(2), 56-59.
- Triono, B., Darmawan, D., Djaelani, M., Safitri, F. S. A., & Masithoh, N. (2025). How Digitalization Reshapes Labor and Task Architecture in the Manufacturing Sector. *International Journal of Service Science, Management, Engineering and Technology*, 7(2), 11-16.
- Varela, J. R., & Radjawane, L. E. (2024). Implementation of Standardized Communication and Documentation in Multidisciplinary Teams of Construction Projects. *Journal of Science, Technology and Society*, 5(1), 55-64.
- Vrchota, J., Čech, P., Maláková, M., & Pech, M. (2020). Critical Success Factors of the Project Management in Relation to Industry 4.0 for Sustainability of Projects. *Sustainability*, 13(1), 1-19.
- Wahono, D., & Prabowo, A. (2024). Analisis Penyebab Keterlambatan Pengadaan Material pada Stasiun X. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 7(1), 329-338.
- Wahyudi, B., Danu, M., Mawasandi, F., Aziz, Z. N., & Rosyadi, M. F. G. (2025). Transformasi Manajemen Rantai Pasokan Berbasis Internet of Things (IoT): Tinjauan Literatur. *Jurnal Teknologi dan Manajemen Industri Terapan*, 4(1), 32-44.
- Yin, R. K. (2018). *Case Study Research and Applications: Design and Methods* (6th ed.). SAGE Publications, Los Angeles.