

Identifikasi Pengembangan Digital Supply Chain pada Industri Pengolahan Sampah

Yohanes Anton Nugroho

Program Studi Teknik Industri, Universitas Teknologi Yogyakarta

Email: yohanesanton@uty.ac.id

Korespondensi penulis: yohanesanton@uty.ac.id

***Abstract.** Technology developments in the era of the industrial revolution 4.0 provide many opportunities to improve supply chain performance and performance. The existence of the waste processing industry as a business has prospects for development, given the large amount of waste generated by the community and the need for several processed products. PT A reduced the amount of garbage that accumulates in the final disposal site (TPA) by reprocessing the waste produced by the community. The existence of waste banks, government agencies, hotels, zoos, and Islamic boarding schools is one of the sources of waste that is processed for waste products. This paper seeks to develop the concept of a digital supply chain by adopting the supply chain model run by PT A. The initial identification presented in this paper can result in several technology identifications that need to be prioritized in implementing relevant technologies in the industry. The expected impact of this implementation is an increase in supply chain performance*

***Keywords:** digital supply chain, supply chain performance, waste processing*

Abstrak. Perkembangan teknologi pada era revolusi industri 4.0 memberikan banyak peluang peningkatan kinerja dan performansi rantai pasok. Keberadaan industri pengolahan sampah menjadi suatu bisnis memiliki prospek untuk dikembangkan, mengingat besarnya jumlah sampah yang dihasilkan masyarakat dan kebutuhan sejumlah produk olahannya. PT A berhasil mengurangi jumlah sampah yang menumpuk di tempat pembuangan akhir (TPA) melalui pengolahan kembali sampah yang dihasilkan masyarakat. Keberadaan bank sampah, instansi pemerintah, hotel, kebun binatang dan pondok pesantren menjadi salah satu sumber sampah yang diproses untuk proses produksi yang dijalankan. Makalah ini berusaha mengembangkan konsep rantai pasok digital dengan mengadopsi model rantai pasok yang dijalankan oleh PT A. Diharapkan dari identifikasi awal yang ditampilkan dalam makalah ini dapat menghasilkan sejumlah identifikasi teknologi yang perlu untuk diprioritaskan dalam implementasi teknologi yang relevan dalam industri tersebut. Dampak yang diharapkan dalam implementasi ini adalah peningkatan performansi rantai pasok

Kata kunci: pengolahan sampah performansi rantai pasok, rantai pasok digital

LATAR BELAKANG

Keberadaan sampah dalam masyarakat merupakan suatu masalah yang kompleks. Berdasarkan Widya et al., (2021), terdapat 3.970.220 penduduk di Daerah Istimewa Yogyakarta, dimana penduduk tersebut menghasilkan timbulan sampah sebesar 582,40

m³ sampah organik dan 457,6 m³ sampah non organik. Permasalahan sampah menjadi masalah yang sangat penting untuk segera diselesaikan, karena jumlah Tempat Pembuangan Akhir (TPA) yang beroperasi di DIY saat ini hanya tinggal 2 TPA, yaitu TPA Regional Piyungan, Bantul yang diperkirakan hanya dapat menampung sampah sampai dengan 2023 dan TPA Banyuroto, Kulon Progo yang diperkirakan hanya dapat menampung sampah sampai dengan tahun 2022. Dengan demikian diperlukan sejumlah solusi untuk mengurangi timbunan sampah yang ada di TPA, diantaranya menimbulkan inisiatif masyarakat untuk mau mengolah dan memilah sampah.

PT. A merupakan suatu perusahaan yang memiliki *core* bisnis dalam pengolahan sampah anorganik (khususnya plastik) ataupun sampah organik. Jenis sampah anorganik yang dipilah diantaranya sampah plastik, botol, kaca, besi, dan kardus. Sementara jenis sampah organik yang dikelola terdiri dari sisa makanan, ranting, daun, buah busuk dan sejumlah sampah lainnya. Sampah anorganik dibeli dari bank sampah yang ada di wilayah Daerah Istimewa Yogyakarta, sementara sampah organik diberikan pengirim tanpa ada biaya, selain biaya pengambilan jika harus diambil. Beberapa mitra mengirimkan sendiri sampahnya menuju PT A, sementara sampah sejumlah mitra meminta layanan penjemputan untuk pengambilan sampah yang didapatkan

Dalam membiayai biaya operasionalnya, PT A mengolah sendiri sampah organik atau anorganik yang didapatkan dari mitra menjadi suatu produk jadi siap jual. Pada saat ini sampah anorganik yang diolah sendiri oleh PT A berupa sampah plastic jenis *Polyethylene Terephthalate* (PET) dan *Low Density Polyethylene* (LDPE). Sementara sampah anorganik jenis lain dikirimkan ke perusahaan yang menjalin kerjasama dengan PT A. Sementara untuk seluruh sampah organik seluruhnya diproses menjadi produk atau pakan. Keberadaan PT A tentu sangat membantu

Beberapa masalah yang dihadapi oleh PT A adalah adanya keterbatasan fasilitas, keterbatasan SDM, dan keterbatasan modal, sehingga potensi yang ada belum dapat dimaksimalkan. Dalam upaya mendukung pencapaian performa pengolahan sampah diperlukan integrasi rantai pasok dengan teknologi, sehingga proses yang berjalan dapat mudah untuk dimonitor dan dikendalikan. Diharapkan akan diperoleh suatu capaian peningkatan kinerja, sehingga potensi yang ada dapat dimaksimalkan dan masalah sampah dapat teratasi.

Konsep integrasi rantai pasok dengan teknologi, dikenal dengan konsep rantai pasok digital atau *digital supply chain* (DSC). DSC dapat didefinisikan sebagai perkembangan informasi sistem dan adopsi teknologi inovatif memperkuat integrasi dan kelincahan rantai pasokan sehingga dengan demikian meningkatkan layanan pelanggan dan kinerja organisasi yang berkelanjutan. Beberapa tantangan teknologi, organisasi dan strategis masih harus diatasi untuk mendorong keberhasilan implementasi DSC. Sangat penting untuk mengembangkan penelitian yang dilakukan pada adopsi teknologi dan dampaknya terhadap rantai pasokan. Selain juga penting untuk mengeksplorasi arah baru konfigurasi DSC, peran integrasi pelanggan-konsumen dan pemasok, kontribusi keterampilan baru dan pendekatan manajemen proyek dan pembangunan alat ukur kinerja DSC yang terintegrasi (Ageron et al., 2020). Berdasarkan pertimbangan tersebut perlu dilakukan kajian untuk pengembangan *digital supply chain* (DSC) yang mampu mengantisipasi kebutuhan pasar dan menyesuaikan karakteristik masyarakat dan industri di Indonesia. Pengembangan kerangka kerja (*framework*) terkait bagaimana efisiensi rantai pasok dalam industri strategis nasional. Adanya kerangka kerja diperlukan untuk mengkaji kesiapan perusahaan dalam mengimplementasikan teknologi serta dampak yang akan ditimbulkan.

Beberapa peneliti sebelumnya telah mencoba mengembangkan penelitian terkait DSC diantaranya adalah Nasiri et al. 2020 yang telah melakukan investigasi terkait dengan penggunaan teknologi pintar dalam transformasi UKM. Schniederjans, D G Schniederjans, D. G. (2020) telah mengembangkan penelitian untuk memetakan teknologi yang dapat memberikan manfaat lebih pada sektor bisnis. Adaptasi digital perlu memahami keinginan dan tuntutan konsumen sepanjang hidup mereka. Dixit, Malviya, and Pandey (2021) telah mengembangkan pemodelan DSC untuk mengidentifikasi kekuatan pendorong dan ketergantungan DSC. Model ini digunakan untuk mengenali dan mengatur enabler penting dan menunjukkan hubungan langsung dan tidak langsung dan efek dari masing-masing enabler pada penerapan DSC.

Makalah ini berusaha untuk menjabarkan identifikasi awal mengenai bagaimana proses yang berjalan dan peluang adopsi teknologi dan metode kerja dari DSC dalam industri pengolahan sampah yang ada di PT A. Diharapkan dapat ditentukan sejumlah

prioritas pengembangan sistem informasi dengan mempertimbangkan berbagai batasan yang dimiliki oleh PT A.

KAJIAN TEORITIS

Perkembangan teknologi informasi yang terjadi menyebabkan transformasi dalam berbagai bidang. Salah satunya tumbuhnya teknologi pintar mengacu pada entitas di mana perangkat fisik atau proses dilengkapi dengan properti pintar dari teknologi digital. Teknologi pintar ditentukan oleh karakteristik kunci tertentu, termasuk kemampuan program, alamat, kemampuan, kepekaan, keterkomunikasian, daya ingat, dan kemampuan bergaul dalam perangkat yang memungkinkan interkoneksi dan kecerdasan perusahaan. *Programmability* memungkinkan perangkat untuk melakukan banyak fungsi yang berbeda dengan lebih banyak fleksibilitas. *Addressability* memungkinkan perangkat untuk diidentifikasi dan dikenali secara unik. Sensibilitas membuat perangkat mampu bereaksi dan waspada terhadap perubahan keadaan. Karakteristik komunikasi perangkat memungkinkan mereka untuk berinteraksi satu sama lain dengan cara yang memungkinkan mereka mengirim dan menerima pesan. Mengenai karakteristik memorizability, perangkat memiliki jenis chip memori, yang mengumpulkan dan menyimpan semua informasi. Terakhir, *associability* memungkinkan perangkat untuk dikaitkan dengan entitas lain termasuk perangkat, lokasi, dan orang (Yoo et al., 2010).

Transformasi digital telah memicu terjadinya digitalisasi pada semua bidang organisasi, tidak terkecuali dalam rantai pasok dan logistik. Saat ini, tren yang muncul di seluruh dunia dalam manajemen rantai pasokan adalah pergeseran fokus dari rantai pasokan klasik ke Digital Supply Chain (DSC). Sarana teknologi seperti IoT, Cloud Computing, BD, dll. memberdayakan organisasi untuk mengubah proses struktur rantai pasok yang didukung 'berbasis kertas tradisional' atau 'kombinasi teknologi hybrid' menjadi model digital kolaboratif dengan fleksibilitas, kelincahan, dan keterbukaan yang lebih tinggi. Tidak seperti struktur rantai pasok yang ada, yang menghasilkan konfigurasi organisasi yang kaku, data yang tidak dapat diakses, dan hubungan yang terfragmentasi dengan mitra, Digital Supply Chain memungkinkan otomatisasi proses, fleksibilitas, dan manajemen digital untuk aset perusahaan. Contoh tren ini terlihat di berbagai teknologi seperti RFID, GPS dan Sensor Technology (ST). Dalam rantai pasok, tujuannya adalah untuk mendapatkan barang yang tepat, pada waktu yang tepat, di tempat yang tepat,

dalam jumlah yang tepat, dalam kondisi yang tepat, dan dengan biaya yang tepat (rendah). Ini dapat dicapai dengan DSC untuk memenuhi permintaan pelanggan saat ini .(Büyükožkan 2018).

DSC masih dalam tahap awal, dan sebagian besar potensinya untuk penciptaan nilai masih belum diklaim. Meskipun demikian, ini telah mengatur rantai pasokan dan industri logistik menjadi perubahan yang cepat dan jalur inovasi baru. Dalam model digital yang muncul saat ini, pusat data menggantikan gudang fisik, bit menggantikan kotak fisik, bandwidth menggantikan truk fisik. Ada pergeseran dalam manajemen saluran dari pusat distribusi konvensional ke layanan pengecer ke penyedia broadband, ke online, dan langsung ke pelanggan. Di dalam DSC, ada banyak inovasi, misalnya *Augmented Reality (AR)*, *Big Data (BD)*, *Cloud Computing (CC)*, *Robotics (R)*, *Sensor Technology (ST)*, *Omni Channel (OC)*, *Internet of Things (IoT)*, *Self-Driving Vehicle (SDV)*, *Unmanned Aerial Vehicle (UAV)*, *Nanotechnology (N)* dan *3D Printing (3DP)*, untuk beberapa nama. Literatur terbaru menyoroti pentingnya DSC dan banyak peneliti industri membahas aplikasinya. Menentukan semua manfaat potensial dari implementasi DSC yang berbeda adalah tugas yang membosankan, karena sebagian besar manfaat tidak berasal dari DSC itu sendiri tetapi dari berbagai solusi yang muncul dari implementasi DSC. Integrasi DSC dapat memberikan berbagai manfaat untuk rantai pasokan dan logistik, yang dibahas

Perusahaan terkemuka sudah menjajaki kemungkinan. Banyak yang telah menggunakan robotika atau kecerdasan buatan untuk mendigitalkan dan mengotomatisasi tugas dan proses yang berulang dan padat karya seperti pembelian, pembuatan faktur, hutang dagang, dan bagian dari layanan pelanggan. Penggunaan *augmented realty* membuat pengambil barang dapat menggunakan kacamata yang dapat menginstruksikan di mana mengambil barang, berapa banyak yang harus diambil dan akan mencatat informasi (Schniederjans, (2020) Sensor yang mendeteksi fenomena fisik (yaitu tekanan, gaya, percepatan, suhu, dll.) dapat mengubah data menjadi output yang biasanya dalam bentuk sinyal elektronik. Pada perkembangannya sensor tidak hanya digunakan di lingkungan manufaktur, tetapi sekarang beberapa kapal kargo mengandung sensor yang mendeteksi mil, mil per galon, bahan bakar, lokasi, kecepatan, dll (Feng & Shanthikumar, 2018). Penggunaan teknologi IoT dalam rantai pasok adalah diharapkan tercapai titik akhir IoT, yang ditandai dengan konsumsi energi yang rendah, biaya yang

rendah, terkadang durasi yang lama, dan tingkat aksesibilitas fisik yang berbeda (Omitola & Wills, 2018). Disamping itu masih terdapat beberapa teknologi lain seperti robot, cloud computing, big data, block chain yang menjanjikan adanya peningkatan performansi dari rantai pasok yang dijalankan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini melakukan suatu studi mengenai bagaimana adopsi DSC terhadap efisiensi dan performansi rantai pasok. dengan mempertimbangkan penelitian sebelumnya. Pada publikasi ini dilakukan *preliminary analysis* untuk mengetahui perkembangan DSC yang ada di dunia dan yang telah diterapkan di Indonesia. Dari studi yang dilakukan, akan dapat ditentukan sejauh mana kemungkinan DSC diterapkan, serta faktor penghambat dan pendorong penggunaan pada PT A. Analisis awal dilakukan identifikasi yang mempengaruhi *digital supply chain*, akan dilakukan berdasarkan wawancara dengan pelaku bisnis untuk menggali kebutuhan dan potensi pengembangan DSC.

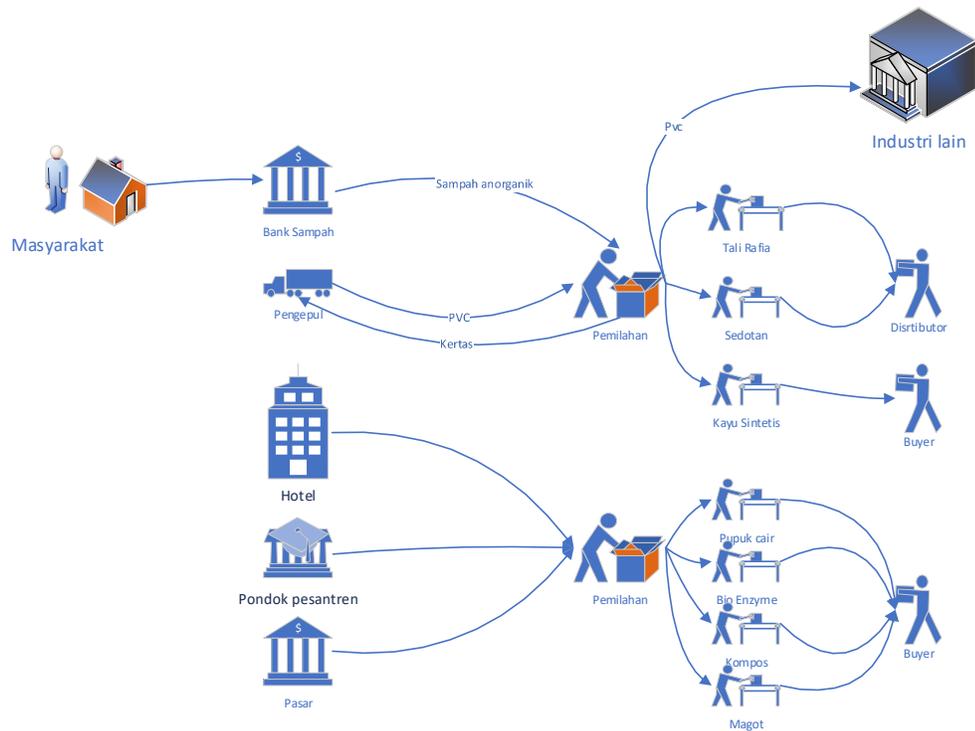
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemrosesan sampah anorganik menghasilkan beberapa produk, diantaranya sedotan, tali rafia, dan kayu sintetis. Produk sedotan yang dihasilkan dari pengolahan *polyethylene terephthalate* (PET), seperti sampah botol air mineral dan gelas minuman plastik. Sementara tali rafia itu plastik berbahan dasar LDPE (*Low Density Polyethylene*). Jenis sampah lain yang dipilah oleh PT A adalah sampah plastic jenis *polyvinyl chloride* (PVC), yang dijual ke perusahaan lain sebagai bahan pembuatan pipa PVC. Sementara sampah berbahan plastik yang tidak untuk diproses menjadi sedotan atau tali rafia, juga tidak layak dijual kembali, akan dikumpulkan untuk pembuatan kayu sintetis.

Sementara itu sampah organik yang didapatkan oleh PT A, semuanya dipilah dan diproses sendiri. PT A memisahkan sampah organik menjadi beberapa kelompok, dimana kelompok 1 merupakan kelompok sampah sayuran dan buah dalam kondisi relatif masih baik, kelompok 2 berupa sayur dan buah busuk, kelompok 3 berupa sampah sisa makanan, kelompok 4 berupa daun dan ranting, dan kelompok 5 berupa kotoran hewan. Sampah organik kelompok 1 disortir dan dipilih bagian sayuran/buah yang busuk dan selanjutnya akan di proses menjadi *bio enzyme*. Sampah organik kategori 2, 4, dan 5 akan

digunakan untuk sebagai bahan dasar sejumlah produk, diantaranya parfum, pupuk cair. Sementara itu sisa makanan yang akan diproses menjadi pakan magot. Pada saat ini jumlah kapasitas magot yang dapat dihasilkan adalah sebanyak 10 kg/hari. Magot yang dijual tidak semuanya dalam bentuk ulat, namun juga menjual dalam bentuk telur dan kepompong. Magot yang ada dihasilkan selanjutnya akan dijual kepada pembeli.

Rantai pasok dalam proses operasi yang dilakukan PT A, dapat digambarkan rantai pasok sebagai berikut.



Gambar 1. Rantai pasok industri pengolahan sampah PTA

Berdasarkan rantai pasok pada Gambar 1. Selanjutnya dapat dikaji lebih lanjut proses alih teknologi yang memungkinkan untuk pengembangan selanjutnya dengan mengadopsi DSC. Adapun proses yang berjalan dan jenis teknologi yang sudah digunakan saat ini ditunjukkan pada Tabel jenis peralatan yang digunakan oleh PT A adalah.

Tabel 1. Proses dan peralatan yang digunakan

Pelaku	Proses	Peralatan yang digunakan
Bank Sampah	Transaksi menabung sampah	Pencatatan manual/sistem informasi

	Penyimpanan sementara	Rak
	Transaksi jual sampah ke PT A	Pencatatan manual dengan nota
Pengepul	Transaksi jual beli	Pencatatan dan pembayaran manual
PT A	Pengambilan sampah ke bank sampah	Pencatatan manual, proses loading secara manual, pemindahan sampah dengan mobil pick up
	Penerimaan barang	Pencatatan manual, proses unloading secara manual, pemindahan dengan mobil pick up
	Pemilahan	pemrosesan manual
	Pengangkutan eksternal	Truk/mobil pickup/sepeda motor roda tiga
	Pengangkutan internal	sepeda motor roda tiga, gerobak
	Pencacahan plastik (crushing)	Mesin crushing
	Pencucian plastik (washing)	Mesin pencuci plastik
	Pemrosesan rafia/kayu sintetis/sedotan	<i>Raffia Yarn Extruder Machine, Drinking Straw Extrusion Machine</i> , mesin ekstruder kayu sintetis, Mesin penarik rafia
	Pencacahan kompos	Mesin pencacah
	Penyimpanan produk jadi	Rak
	Transaksi Penjualan	Pencatatan manual, transaksi bank

Berdasarkan aktivitas yang dilakukan, sejumlah besar aktivitas yang cukup banyak adalah terkait dengan pembukuan dan pencatatan transaksi, dimana Sebagian besar adalah transaksi manual. teknologi yang dimungkinkan untuk tersebut maka peluang penerapan DSC di PT A masih perlu untuk dikaji secara cermat. Beberapa jenis teknologi yang dapat diterapkan di PT A adalah mengintegrasikan sejumlah teknologi. Penggunaan teknologi yang dipertimbangkan dalam pemilihan teknologi DSC haruslah disesuaikan dengan ketersediaan teknologi, biaya penggunaan dan kemampuan adaptasi SDM yang dimiliki. Diharapkan penggunaan teknologi yang ada dapat meningkatkan kinerja rantai pasok, namun dengan biaya yang seminimal mungkin, Adapun usulan beberapa teknologi yang coba dikembangkan ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Peluang tahapan pengembangan sistem

Teknologi	Penggunaan	Fungsi	Referensi
<i>Barcode System</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Transaksi menabung sampah • Penyimpanan sampah 	Sistem barcode memungkinkan pembuatan, penangkapan, dan pengiriman informasi	(Abernathy et al., 2000; Hara et al., 2017; Manthou & Vlachopoulou,

	<ul style="list-style-type: none"> • Transaksi jual beli • Penerimaan barang • Penyimpanan produk jadi • Transaksi Penjualan 	<p>dari satu anggota rantai pasokan ke yang lain, sehingga membuat rantai pasokan lebih efisien (Núñez-Merino et al., 2020)</p>	<p>2001; Tserng et al., 2005)</p>
<p><i>Cloud computing Information System</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Transaksi menabung sampah • Penyimpanan sampah • Transaksi jual beli • Penerimaan barang • Penyimpanan produk jadi • Transaksi Penjualan 	<p>Diintegrasikan dengan sistem informasi dan untuk dokumentasi penyimpanan data transaksi secara <i>realtime</i>. <i>Cloud computing</i> akan berdampak signifikan pada efisiensi sistem informasi untuk menciptakan layanan dan aplikasi. Teknologi kolaboratif ini dapat diterapkan kapan saja di mana saja dan secara global tanpa banyak memperhatikan penerapan infrastruktur baru, lisensi perangkat lunak, dan pelatihan karyawan .</p>	<p>(Cheng et al., 2021; Kamble et al., 2022; Luo & Choi, 2022; Manuel Maqueira et al., 2019; Mukherjee et al., 2022; Patrucco et al., 2022; Vazquez-Martinez et al., 2018; Xu et al., 2018)</p>

Berdasarkan sejumlah pertimbangan, maka proses pembaharuan teknologi yang diprioritaskan terlebih dahulu adalah pembaharuan dalam tata kelola informasi. Penggunaan sistem informasi yang didukung dengan *cloud computing* diharapkan dapat memberikan informasi secara *realtime*, sehingga diharapkan dapat diperoleh informasi terkait ketersediaan barang pada banksampah ataupun mitra yang bekerjasama.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil analisis awal dapat diidentifikasi sejumlah teknologi yang berpeluang untuk diterapkan dalam DSC pada industri pengolahan sampah menjadi sejumlah produk. Perlu dilakukan analisis lanjutan untuk mengembangkan model digital yang dapat mengintegrasikan seluruh proses dalam industri tersebut. Diharapkan dalam pengembangan selanjutnya dapat dikembangkan sejumlah integrasi teknologi untuk peningkatan performansi rantai pasok dan pencapaian kinerja perusahaan

DAFTAR REFERENSI

- Abernathy, F. H., Dunlop, J. T., Hammond, J. H., & Weil, D. (2000). Retailing and supply chains in the information age. *Technology in Society*, 22(1). [https://doi.org/10.1016/S0160-791X\(99\)00039-1](https://doi.org/10.1016/S0160-791X(99)00039-1)
- Ageron, B., Bentahar, O., & Gunasekaran, A. (2020). Digital supply chain: challenges and future directions. In *Supply Chain Forum* (Vol. 21, Issue 3). <https://doi.org/10.1080/16258312.2020.1816361>
- Büyüközkan, G. (2018). Digital Supply Chain: Literature review and a proposed framework for future research. *Computers in Industry*, 97, 157–177. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2018.02.010>
- Cheng, C. H., Kuo, Y. H., Lam, H., & Petering, M. (2021). Real-time location-positioning technologies for managing cart operations at a distribution facility. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(9). <https://doi.org/10.3390/app11094049>
- Dixit, V. K., Malviya, R. K., & Pandey, S. (2021). Modelling the digital supply chain enablers using tism and micmac approach. *Journal of Engineering Research (Kuwait)*, 2021. <https://doi.org/10.36909/jer.ICIPPSD.15537>
- Feng, Q., & Shanthikumar, J. G. (2018). How Research in Production and Operations Management May Evolve in the Era of Big Data. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3089257>
- Hara, L., Guirguis, R., Hummel, K., & Villanueva, M. (2017). More than bar codes: Integrating global standards-based bar code technology into national health information systems in Ethiopia and Pakistan to increase end-to-end supply chain visibility. *Global Health Science and Practice*, 5(4). <https://doi.org/10.9745/GHSP-D-16-00350>
- Kamble, S. S., Gunasekaran, A., Parekh, H., Mani, V., Belhadi, A., & Sharma, R. (2022). Digital twin for sustainable manufacturing supply chains: Current trends, future perspectives, and an implementation framework. *Technological Forecasting and Social Change*, 176. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.121448>
- Luo, S., & Choi, T. M. (2022). Operational Research for Technology-Driven Supply Chains in the Industry 4.0 Era: Recent Development and Future Studies. *Asia-Pacific Journal of Operational Research*, 39(1). <https://doi.org/10.1142/S0217595920400217>
- Manthou, V., & Vlachopoulou, M. (2001). Bar-code technology for inventory and marketing management systems: A model for its development and implementation.

International Journal of Production Economics, 71(1–3).
[https://doi.org/10.1016/S0925-5273\(00\)00115-8](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(00)00115-8)

Manuel Maqueira, J., Moyano-Fuentes, J., & Bruque, S. (2019). Drivers and consequences of an innovative technology assimilation in the supply chain: cloud computing and supply chain integration. *International Journal of Production Research*, 57(7). <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1530473>

Mukherjee, S., Chittipaka, V., Baral, M. M., & Srivastava, S. C. (2022). Integrating the Challenges of Cloud Computing in Supply Chain Management. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*. https://doi.org/10.1007/978-981-16-5281-3_33

Nasiri, M., Ukko, J., Saunila, M., & Rantala, T. (2020). Managing the digital supply chain: The role of smart technologies. *Technovation*, 96–97. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2020.102121>

Núñez-Merino, M., Maqueira-Marín, J. M., Moyano-Fuentes, J., & Martínez-Jurado, P. J. (2020). Information and digital technologies of Industry 4.0 and Lean supply chain management: a systematic literature review. *International Journal of Production Research*, 58(16). <https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1743896>

Omitola, T., & Wills, G. (2018). Towards Mapping the security Challenges of the Internet of Things (IoT) supply Chain. *Procedia Computer Science*, 126. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.07.278>

Patrucco, A., Moretto, A., Trabucchi, D., & Golini, R. (2022). How Do Industry 4.0 Technologies Boost Collaborations in Buyer-Supplier Relationships? *Research Technology Management*, 65(1). <https://doi.org/10.1080/08956308.2021.1999131>

Schniederjans, D G Schniederjans, D. G. (2020). Supply chain digitisation trends: An integration of knowledge management. *International Journal of Production Economics*, 220. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.07.012>. (2020). Supply chain digitisation trends: An integration of knowledge management. *International Journal of Production Economics*, 220. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.07.012>

Tserng, H. P., Dzensg, R. J., Lin, Y. C., & Lin, S. T. (2005). Mobile construction supply chain management using PDA and Bar Codes. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 20(4). <https://doi.org/10.1111/j.1467-8667.2005.00391>

Vazquez-Martinez, G. A., Gonzalez-Compean, J. L., Sosa-Sosa, V. J., Morales-Sandoval, M., & Perez, J. C. (2018). CloudChain: A novel distribution model for digital products based on supply chain principles. *International Journal of Information Management*, 39. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2017.12.006>

Widya, C., Supriyani, N., Andianti, R., & Zulkifli, M. (2021). Statistik Lingkungan Hidup Indonesia 2021 Energi dan Lingkungan. In *Badan Pusat Statistik*.

- Xu, G., Li, M., Chen, C. H., & Wei, Y. (2018). Cloud asset-enabled integrated IoT platform for lean prefabricated construction. *Automation in Construction*, 93. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.05.012>
- Yoo, Y., Henfridsson, O., & Lyytinen, K. (2010). The new organizing logic of digital innovation: An agenda for information systems research. *Information Systems Research*, 21(4). <https://doi.org/10.1287/isre.1100.0322>