

PERANCANGAN ULANG TATA LETAK GUDANG MENGGUNAKAN METODE CLASS-BASED STORAGE BERDASARKAN INVENTORY TURNOVER UNTUK MENINGKATKAN EFISIENSI PENYIMPANAN BARANG

Nur Qidam Aliyanto ¹⁾, Mukhamad Kurniawan ²⁾,
Aan Hadi Nata ³⁾, Ida Kusnawati Tjahjani ⁴⁾

^{1,2,3,4)} Prodi Teknik Industri, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas PGRI Adi Buana Surabaya
Email : ida.tjahjani@unipasby.ac.id

Abstrak, Efisiensi tata letak penyimpanan merupakan aspek penting dalam mendukung kelancaran aktivitas penyimpanan dan pengambilan barang di gudang. Perbedaan tingkat perputaran barang dapat menyebabkan penempatan barang kurang sesuai dengan frekuensi pengambilannya sehingga berpotensi meningkatkan jarak perpindahan material. Penelitian ini bertujuan merancang ulang tata letak gudang menggunakan metode *Class-Based Storage* berdasarkan nilai *Inventory Turnover*. Penelitian menggunakan pendekatan deskriptif-kuantitatif dengan data pergerakan 32 item barang dalam satuan palet selama satu bulan. Nilai *Inventory Turnover* dihitung berdasarkan rasio jumlah palet keluar terhadap stok palet, kemudian barang diklasifikasikan menjadi tiga kategori, yaitu *Fast Moving* (>5), *Medium Moving* (3–5), dan *Slow Moving* (<3). Selanjutnya, setiap kategori dialokasikan pada tata letak gudang berukuran 7 rak × 10 kolom berdasarkan kedekatannya dengan area *shipping/loading dock*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa 10 item (31,25%) termasuk *Fast Moving*, 15 item (46,88%) *Medium Moving*, dan 7 item (21,88%) *Slow Moving*, dengan rata-rata *Inventory Turnover* sebesar 4,11 kali per bulan. Rancangan layout menempatkan *Fast Moving* pada Rak 1–2, *Medium Moving* pada Rak 3–5, dan *Slow Moving* pada Rak 6–7. Rancangan menghasilkan penempatan barang yang lebih terstruktur berdasarkan tingkat perputaran dan menyediakan ruang cadangan pada setiap zona. Efisiensi yang dibahas bersifat teoretis-desain dan belum divalidasi melalui pengukuran jarak atau waktu pengambilan secara langsung.

Kata Kunci: *Class-Based Storage*; *Inventory Turnover*; Tata Letak Gudang; Efisiensi Gudang; Manajemen Pergudangan.

PENDAHULUAN

Gudang merupakan salah satu simpul kritis dalam rantai pasok karena berfungsi sebagai penyangga antara aktivitas produksi/pengadaan dan distribusi kepada pelanggan. Efisiensi operasional gudang, termasuk kecepatan dan ketepatan proses penyimpanan serta pengambilan barang, memberikan pengaruh langsung terhadap kinerja rantai pasok secara keseluruhan (Mohamud et al., 2023). Tata letak penyimpanan yang tidak mempertimbangkan karakteristik pergerakan barang dapat memperpanjang waktu pengambilan (*order picking time*), meningkatkan beban kerja operator, dan menurunkan tingkat pelayanan kepada pelanggan, mengingat aktivitas *order picking* umumnya menyumbang porsi biaya operasional gudang yang paling besar dibandingkan aktivitas gudang lainnya (De Koster, Le-Duc, & Roodbergen, 2007) [Perlu Data Tambahan: verifikasi sitasi]. Berbagai kriteria kinerja gudang, seperti akurasi

pengambilan, waktu siklus, dan pemanfaatan ruang, telah banyak diidentifikasi sebagai faktor penentu efisiensi operasional gudang (Saini et al., 2025; Tokat et al., 2021).

Untuk mengatasi permasalahan efisiensi tersebut, sebagian besar penelitian terkini berfokus pada penerapan *Warehouse Management System (WMS)* berbasis teknologi informasi. Sistem ini banyak dikembangkan untuk mendukung pencatatan transaksi gudang secara real-time, mulai dari perancangan arsitektur sistem cerdas (Khan et al., 2022), pengembangan sistem informasi berbasis web untuk pengelolaan stok (Lesmana, 2023; Dewi & Shofa, 2023; Phan & Tran, 2022), hingga penerapan teknologi otomatisasi proses seperti *Robotic Process Automation* untuk meningkatkan kinerja bisnis gudang (Tayab & Li, 2024). Kajian analisis umum WMS (Rana, 2023) serta pentingnya sistem gudang yang efisien bagi keberlangsungan operasional perusahaan (Shashidharan, 2021; Samsudin et al., 2023;

Shanmugamani & Mohamad, 2023) menegaskan bahwa investasi pada sistem informasi gudang dipandang sebagai salah satu solusi utama peningkatan efisiensi. Tinjauan literatur sistematis juga menunjukkan bahwa WMS semakin dikaitkan dengan isu keberlanjutan sosial dan lingkungan, di luar sekadar efisiensi operasional (Minashkina & Happonen, 2023). Aspek non-teknis seperti kontribusi faktor manusia dan sistem gudang terhadap ketidaksesuaian stok turut menjadi perhatian, yang menegaskan bahwa akurasi data pergerakan barang menjadi prasyarat penting sebelum sistem apa pun diterapkan (Kosagiama et al., 2025).

Di sisi lain, kajian mengenai strategi penempatan barang (storage assignment policy) itu sendiri, termasuk class-based storage, telah lama menjadi topik dalam literatur logistik gudang. Prinsip dasarnya adalah mengelompokkan barang ke dalam beberapa kelas berdasarkan tingkat perputaran (turnover) dan menempatkan kelas dengan perputaran tertinggi paling dekat dengan titik pengambilan untuk meminimalkan jarak dan waktu tempuh (Pohl, Meller, & Gue, 2011; Silva et al., 2022) [Perlu Data Tambahan: verifikasi sitasi]. Studi kasus penerapan class-based storage pada gudang riil juga telah dilaporkan, misalnya pada perancangan layout untuk meminimalkan jarak transfer material (Muhammad et al., 2023) [Perlu Data Tambahan: verifikasi sitasi]. Namun demikian, literatur mengenai WMS berbasis teknologi informasi jauh lebih dominan dibandingkan literatur mengenai perancangan fisik tata letak penyimpanan pada konteks gudang di Indonesia. Tinjauan pustaka mengenai peran tata letak dan operasional terhadap efisiensi gudang memang telah dilakukan (Mohamud et al., 2023), namun bersifat konseptual dan belum menyajikan penerapan kuantitatif suatu metode penempatan barang berbasis data pergerakan aktual pada studi kasus nyata. Penelitian desain sistem informasi dan tata letak gudang pada studi kasus tertentu juga telah dilakukan (Budiman & Purwaningsih, 2023), namun penekanannya lebih pada perancangan sistem informasi ketimbang metode klasifikasi penempatan barang berbasis rasio inventory turnover. Dengan demikian, dari kumpulan literatur yang ditelaah, belum ditemukan penelitian yang secara eksplisit

menerapkan metode class-based storage berbasis rasio inventory turnover aktual, bukan sekadar volume atau frekuensi pesanan, sebagai dasar perancangan ulang tata letak gudang pada studi kasus di Indonesia.

Berdasarkan kesenjangan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang ulang tata letak gudang menggunakan metode class-based storage yang didasarkan pada rasio inventory turnover masing-masing item barang, dengan mengklasifikasikan barang ke dalam kelompok fast moving, medium moving, dan slow moving, kemudian menempatkannya pada zona penyimpanan yang sesuai dengan tingkat aksesibilitasnya terhadap area pengiriman.

Penelitian ini memberikan dua kontribusi. Secara teoretis, penelitian ini melengkapi kajian manajemen gudang yang selama ini didominasi pendekatan berbasis sistem informasi (WMS), dengan menyajikan penerapan kuantitatif metode class-based storage berbasis data pergerakan aktual pada studi kasus riil. Secara praktis, penelitian ini menghasilkan rancangan tata letak gudang yang lebih efisien dalam mendukung proses penyimpanan dan pengambilan barang pada objek penelitian.

METODE

Desain dan Objek Penelitian

Penelitian ini menggunakan desain studi kasus deskriptif-kuantitatif, yaitu menerapkan metode class-based storage pada data pergerakan barang aktual dari satu objek gudang untuk menghasilkan rancangan tata letak baru. Objek penelitian adalah [Perlu Data Tambahan — nama/identitas gudang objek penelitian, mis. gudang distribusi PT X], dengan populasi data sebanyak 32 item barang yang dikelola dalam satuan palet. Data yang digunakan meliputi jumlah palet keluar dan jumlah stok palet masing-masing item selama periode satu bulan pengamatan [Perlu Data Tambahan — bulan/tahun periode data, serta sumber data: sistem pencatatan gudang (WMS/kartu stok manual) atau observasi langsung]. Periode satu bulan dipilih sebagai representasi siklus operasional bulanan gudang; penelitian lanjutan disarankan menggunakan periode pengamatan yang lebih panjang (misalnya 6-12 bulan) untuk

mengurangi potensi bias musiman pada nilai inventory turnover.

Tahapan Penelitian

Penelitian dilakukan melalui lima tahap sebagaimana disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Flowchart Tahapan Metode Penelitian

Pertama, menghitung nilai inventory turnover setiap item menggunakan rasio jumlah palet keluar terhadap jumlah stok palet sebagaimana Persamaan (1):

$$\text{Inventory Turnover} = \text{Palet Keluar} / \text{Stok Palet} \dots(1)$$

Nilai tersebut menunjukkan berapa kali rata-rata stok suatu item berputar (keluar dan diisi ulang kembali) dalam satu bulan.

Kedua, mengklasifikasikan seluruh item ke dalam tiga kelas berdasarkan nilai inventory turnover, yaitu Fast Moving (>5), Medium Moving (3-5), dan Slow Moving (<3). Batas nilai (threshold) ini mengikuti pengelompokan yang telah ditetapkan pada objek penelitian [Perlu Data Tambahan — dasar/justifikasi penetapan threshold: apakah mengacu pada kebijakan internal perusahaan, kesepakatan dengan pihak gudang, atau metode statistik tertentu seperti pembagian kuartil/persentil dari distribusi data]. Sebagai catatan metodologis, pendekatan pembatasan tiga

kelas berdasarkan rasio perputaran ini sejalan dengan prinsip umum klasifikasi ABC yang lazim digunakan dalam studi class-based storage (Silva et al., 2022) [Perlu Data Tambahan: verifikasi sitasi], namun threshold spesifik (5 dan 3) bersifat kontekstual terhadap objek penelitian dan tidak serta-merta dapat digeneralisasi ke gudang lain tanpa penyesuaian.

Ketiga, menyusun alokasi zona penyimpanan pada layout gudang berukuran 7 rak x 10 kolom dengan prinsip class-based storage: kelas Fast Moving ditempatkan pada rak yang paling dekat dengan area shipping/loading dock, kelas Medium Moving pada rak di area tengah, dan kelas Slow Moving pada rak yang paling jauh dari titik pengambilan (mendekati area receiving).

Keempat, mengevaluasi kapasitas gudang hasil rancangan terhadap kebutuhan penyimpanan aktual, dengan asumsi kapasitas 1 rak = 4 bay (tinggi) x 10 bay (panjang) x 2 palet/bay = 80 palet.

Teknik Analisis Data

Analisis dilakukan secara deskriptif-kuantitatif dengan membandingkan proporsi jumlah item pada tiap kelas, rata-rata nilai inventory turnover, serta kesesuaian kapasitas rak terhadap kebutuhan penyimpanan. Penelitian ini tidak melakukan pengukuran kuantitatif jarak/waktu tempuh pengambilan barang secara langsung karena keterbatasan data layout eksisting dan dimensi fisik gudang [Perlu Data Tambahan]; efisiensi yang dibahas bersifat teoretis-desain berdasarkan prinsip kedekatan kelas fast moving terhadap titik pengiriman.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil perhitungan inventory turnover terhadap 32 item barang beserta klasifikasi kelasnya disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Perhitungan Inventory Turnover dan Klasifikasi Kelas per Item

Barang (No.)	Palet Keluar	Stok Palet	Inventory Turnover	Kategori
1	106	20	5,30	Fast Moving
2	70	15	4,67	Medium Moving
3	68	18	3,78	Medium Moving

Barang (No.)	Palet Keluar	Stok Palet	Inventory Turnover	Kategori
4	186	45	4,13	Medium Moving
5	19	5	3,80	Medium Moving
6	143	30	4,77	Medium Moving
7	54	15	3,60	Medium Moving
8	81	20	4,05	Medium Moving
9	168	30	5,60	Fast Moving
10	59	20	2,95	Slow Moving
11	35	15	2,33	Slow Moving
12	114	20	5,70	Fast Moving
13	90	25	3,60	Medium Moving
14	86	22	3,91	Medium Moving
15	238	45	5,29	Fast Moving
16	28	8	3,50	Medium Moving
17	62	18	3,44	Medium Moving
18	44	8	5,50	Fast Moving
19	90	20	4,50	Medium Moving
20	35	10	3,50	Medium Moving
21	45	10	4,50	Medium Moving
22	33	12	2,75	Slow Moving
23	52	10	5,20	Fast Moving
24	98	15	6,53	Fast Moving
25	11	8	1,38	Slow Moving
26	12	10	1,20	Slow Moving
27	98	20	4,90	Medium Moving
28	92	15	6,13	Fast Moving
29	17	12	1,42	Slow Moving
30	64	10	6,40	Fast Moving

Barang (No.)	Palet Keluar	Stok Palet	Inventory Turnover	Kategori
31	18	10	1,80	Slow Moving
32	142	27	5,26	Fast Moving
Rata-rata	76,81	17,75	4,11	-

Tabel 1 menunjukkan bahwa nilai inventory turnover pada 32 item barang bervariasi antara 1,20 (item nomor 26) hingga 6,53 (item nomor 24), dengan rata-rata keseluruhan sebesar 4,11 kali per bulan. Variasi ini mengonfirmasi bahwa tidak seluruh item bergerak dengan kecepatan yang sama, sehingga penempatan seragam pada seluruh area gudang tanpa mempertimbangkan kecepatan pergerakan berpotensi menimbulkan inefisiensi, sejalan dengan temuan bahwa kriteria kinerja gudang bersifat multidimensi dan perlu dipertimbangkan secara spesifik per item (Saini et al., 2025).

Variasi nilai inventory turnover di dalam masing-masing kelas juga menunjukkan pola yang relevan untuk perancangan layout. Kelas Fast Moving memiliki rata-rata 5,69 kali/bulan dengan rentang 5,20-6,53, kelas Medium Moving rata-rata 4,04 dengan rentang 3,44-4,90, dan kelas Slow Moving rata-rata 1,98 dengan rentang 1,20-2,95. Rentang yang relatif sempit pada tiap kelas mengindikasikan bahwa pengelompokan tiga kelas cukup homogen secara internal, sehingga penempatan seragam dalam satu zona rak untuk tiap kelas dapat dijustifikasi tanpa perlu sub-zonasi lebih lanjut. Namun demikian, nilai batas kelas Medium Moving (3,44 mendekati batas bawah 3, dan 4,90 mendekati batas atas 5) menunjukkan bahwa beberapa item berada dekat threshold klasifikasi, sehingga perubahan kecil pada pola penjualan/permintaan berpotensi menggeser item tersebut ke kelas berbeda pada periode pengamatan selanjutnya. Hal ini menegaskan pentingnya evaluasi klasifikasi secara berkala [Perlu Data Tambahan: apakah perusahaan memiliki mekanisme evaluasi berkala, misalnya bulanan/triwulanan].

Berdasarkan nilai inventory turnover tersebut, seluruh item dikelompokkan ke dalam tiga kelas pergerakan sebagaimana dirangkum pada Tabel 2.

Tabel 2. Distribusi Jumlah Item Berdasarkan Klasifikasi Kelas

Kelas	Jumlah Item	Persentase
Fast Moving	10	31,25%
Medium Moving	15	46,88%
Slow Moving	7	21,88%
Total	32	100%

Hasil klasifikasi pada Tabel 2 menunjukkan bahwa 10 item (31,25%) tergolong Fast Moving, 15 item (46,88%) Medium Moving, dan 7 item (21,88%) Slow Moving. Proporsi ini menunjukkan bahwa hampir sepertiga dari total item merupakan barang dengan tingkat perputaran tinggi yang perlu mendapat prioritas aksesibilitas pada rancangan layout, sejalan dengan prinsip umum bahwa sebagian kecil item barang cenderung berkontribusi signifikan terhadap intensitas aktivitas pengambilan di gudang.

Berdasarkan hasil klasifikasi tersebut, disusun rancangan layout gudang berbasis class-based storage pada konfigurasi 7 rak x 10 kolom, sebagaimana disajikan pada Tabel 3 dan divisualisasikan pada Gambar 2. Kelas Fast Moving ditempatkan pada Rak 1-2 yang paling dekat dengan area shipping/loading dock, kelas Medium Moving pada Rak 3-5 di area tengah, dan kelas Slow Moving pada Rak 6-7 yang paling jauh dari titik pengambilan.

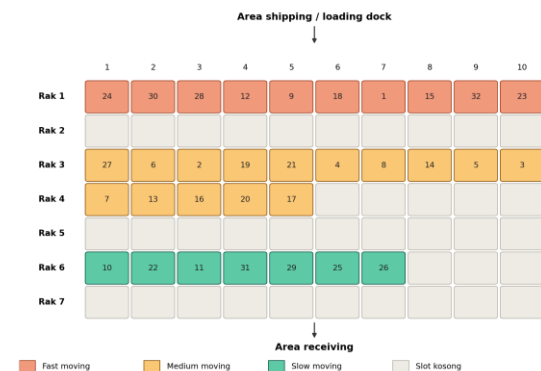
Tabel 3. Rancangan Layout Gudang 7x10 Berbasis Class-Based Storage

Rak \ Kolom	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Rak 1	24	30	28	12	9	18	1	15	32	23
Rak 2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rak 3	27	6	2	19	21	4	8	14	5	3
Rak 4	7	13	16	20	17	-	-	-	-	-
Rak 5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rak 6	10	22	11	31	29	25	26	-	-	-
Rak 7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Keterangan: Rak 1-2 = Fast Moving (10 item, dekat area shipping); Rak 3-5 = Medium Moving (15 item, area tengah); Rak 6-7 = Slow Moving (7 item, dekat area receiving); tanda "-" menunjukkan slot kosong/cadangan.

Rancangan pada Tabel 3 dan Gambar 2 menggunakan total 70 slot rak yang tersedia (7 rak x 10 kolom) untuk menampung kebutuhan penyimpanan sebanyak 32 item, dengan kapasitas maksimum tiap rak mencapai 80 palet (4 bay tinggi x 10 bay panjang x 2 palet/bay). Dengan demikian, kapasitas

gudang hasil rancangan masih memiliki ruang cadangan yang dapat mengakomodasi pertumbuhan volume stok di masa mendatang.



Gambar 2. Denah Rancangan Layout Gudang Berbasis Class-Based Storage

Pola pada Gambar 2 menunjukkan bahwa Rak 2 dan Rak 5 sepenuhnya kosong, sedangkan Rak 4 dan Rak 6 hanya terisi sebagian. Kekosongan ini secara struktural memberi dua implikasi: pertama, ruang cadangan tersedia merata di setiap zona kelas (bukan hanya di satu rak), sehingga penambahan item baru pada kelas mana pun dapat langsung dialokasikan tanpa merombak ulang seluruh layout; kedua, dari perspektif pemanfaatan ruang, tingkat keterisian rancangan saat ini hanya 32 dari 70 slot (45,7%), yang berarti kapasitas terpasang jauh melebihi kebutuhan aktual. Rasio ini wajar mengingat data hanya mencakup 32 item pada satu periode observasi, namun perlu dicermati apakah ukuran gudang 7x10 memang merupakan kapasitas tetap/eksisting perusahaan atau merupakan asumsi rancangan [Perlu Data Tambahan: konfirmasi apakah dimensi 7 rak x 10 kolom adalah kapasitas gudang aktual atau asumsi]. Efisiensi pemanfaatan ruang idealnya dianalisis lebih lanjut menggunakan indikator space utilization ratio, sejalan dengan kriteria kinerja gudang berbasis pemanfaatan ruang yang telah diidentifikasi dalam literatur (Saini et al., 2025; Tokat et al., 2021).

Prinsip penempatan fast moving pada area terdekat dengan titik pengiriman yang diterapkan dalam penelitian ini sejalan dengan pandangan bahwa tata letak dan operasional gudang memiliki peran penting terhadap efisiensi gudang secara keseluruhan (Mohamud et al., 2023), serta konsisten

dengan prinsip umum kebijakan class-based storage yang menempatkan kelas dengan perputaran tertinggi paling dekat dengan titik pengambilan (pick-and-deposit point) untuk meminimalkan jarak tempuh (Pohl, Meller, & Gue, 2011) [Perlu Data Tambahan: verifikasi sitasi]. Rancangan ini juga melengkapi pendekatan yang digunakan pada penelitian desain sistem informasi dan tata letak gudang sebelumnya (Budiman & Purwaningsih, 2023), dengan menambahkan dasar kuantitatif berupa rasio inventory turnover aktual sebagai kriteria pengelompokan. Pendekatan berbasis data kuantitatif ini juga selaras dengan kecenderungan penelitian terkini yang menekankan kriteria terukur dalam mengevaluasi dan mengoptimalkan kinerja gudang (Saini et al., 2025; Tokat et al., 2021; Francuz & Bányai, 2025), termasuk pendekatan lean yang menekankan efisiensi pemanfaatan ruang dan minimasi pemborosan pergerakan (Julião et al., 2025).

Keterbatasan Penelitian

Pembahasan efisiensi pada penelitian ini bersifat teoretis-desain, berdasarkan prinsip penempatan barang fast moving pada area dengan aksesibilitas tertinggi, bukan hasil pengukuran langsung. Perbandingan kuantitatif berupa persentase penurunan jarak atau waktu tempuh pengambilan barang antara layout eksisting dan layout usulan belum dapat disajikan karena data layout gudang sebelum perancangan ulang serta data dimensi fisik gudang tidak tersedia pada penelitian ini [Perlu Data Tambahan: layout eksisting dan dimensi fisik gudang]. Selain itu, periode data yang digunakan hanya satu bulan, sehingga nilai inventory turnover berpotensi belum merepresentasikan pola pergerakan musiman [Perlu Data Tambahan]. Keterbatasan ini disampaikan secara eksplisit agar interpretasi hasil tidak melampaui data yang tersedia.

KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini menjawab kesenjangan literatur manajemen gudang yang selama ini didominasi pendekatan berbasis sistem informasi (WMS), dengan menyajikan penerapan kuantitatif metode class-based storage berbasis rasio inventory turnover aktual pada studi kasus riil. Hasil klasifikasi terhadap 32 item barang menunjukkan 10 item

(31,25%) Fast Moving, 15 item (46,88%) Medium Moving, dan 7 item (21,88%) Slow Moving, dengan rata-rata inventory turnover keseluruhan 4,11 kali per bulan (rata-rata per kelas: 5,69; 4,04; dan 1,98). Rancangan layout yang dihasilkan menempatkan kelas Fast Moving pada Rak 1-2 (dekat area shipping), Medium Moving pada Rak 3-5, dan Slow Moving pada Rak 6-7 (dekat area receiving), dengan total kapasitas 70 slot rak yang mencukupi kebutuhan penyimpanan 32 item beserta ruang cadangan untuk pertumbuhan stok di masa mendatang.

Dengan demikian, penelitian ini menunjukkan bahwa metode class-based storage berbasis data pergerakan aktual dapat diterapkan secara langsung pada studi kasus gudang nyata untuk menghasilkan rancangan tata letak yang lebih terstruktur, sekaligus melengkapi kajian manajemen gudang yang selama ini berfokus pada aspek sistem informasi. Kontribusi utama penelitian ini adalah menyajikan bukti empiris penerapan metode tersebut pada konteks studi kasus di Indonesia, yang sejauh penelusuran literatur pada penelitian ini belum banyak didokumentasikan.

Secara praktis, disarankan agar perusahaan objek penelitian mengimplementasikan rancangan layout usulan secara bertahap, dimulai dari relokasi item Fast Moving ke Rak 1-2, serta melakukan pengukuran kinerja before-after (jarak dan waktu tempuh pengambilan barang) untuk memvalidasi besaran peningkatan efisiensi secara kuantitatif. Perusahaan juga disarankan menetapkan mekanisme evaluasi klasifikasi kelas secara berkala (misalnya setiap bulan atau triwulan), mengingat beberapa item pada kelas Medium Moving berada dekat batas threshold klasifikasi sehingga berpotensi berubah kelas pada periode berikutnya. Secara akademik, penelitian lanjutan disarankan untuk: (1) melengkapi data dimensi fisik gudang dan layout eksisting, sehingga analisis efisiensi kuantitatif seperti simulasi jarak tempuh atau waktu siklus dapat dilakukan secara lebih komprehensif; (2) menggunakan periode pengamatan yang lebih panjang (6-12 bulan) untuk mengurangi potensi bias musiman pada nilai inventory turnover; dan (3) memperluas kajian dengan mengombinasikan metode class-based storage

dengan pendekatan WMS berbasis teknologi informasi yang telah banyak dikaji pada penelitian-penelitian sebelumnya, guna menghasilkan sistem penempatan barang yang tidak hanya terstruktur secara fisik tetapi juga terintegrasi secara digital.

DAFTAR PUSTAKA

- Budiman, I., & Purwaningsih, S. S. (2023). Inventory management through information systems design and warehouse layout in Sans Boxer. *Records Management System Journal*, 2(1). <https://doi.org/10.62201/RMSJ.V2I1.74>
- De Koster, R., Le-Duc, T., & Roodbergen, K. J. (2007). Design and control of warehouse order picking: A literature review. *European Journal of Operational Research*, 182(2), 481-501. [Perlu Data Tambahan: verifikasi DOI]
- Dewi, I. K., & Shofa, R. N. (2023). Development of warehouse management system to manage warehouse operations. *International Journal of Applied Information Systems and Informatics (JAISI)*, 1(1). <https://doi.org/10.37058/JAISI.V1I1.8991>
- Francuz, Á., & Bányai, T. (2025). Intelligent control approaches for warehouse performance optimisation in Industry 4.0 using machine learning. *Future Internet*, 17(10). <https://doi.org/10.3390/FI17100468>
- Julião, B. J. B., Reis, M. S., & Duarte, B. P. (2025). A systematic lean-driven framework for warehouse optimization. *Systems*, 13(9). <https://doi.org/10.3390/SYSTEMS13090813>
- Khan, M. G., Huda, N. U., & Zaman, U. (2022). Smart warehouse management system: Architecture, real-time implementation and prototype design. *Machines*, 10(2). <https://doi.org/10.3390/MACHINES10020150>
- Kosagiama, F., Fian, M., Eulan, D., Ilham, M., & Prastyo, Y. (2025). Kontribusi human dan sistem gudang terhadap ketidaksesuaian stok inventory. *Journal of Science Technology and Innovation*. <https://doi.org/10.65310/56X2TV43>
- Lesmana, R. K. (2023). Optimalisasi pengelolaan gudang Indomarco melalui sistem informasi berbasis web untuk meningkatkan produktivitas dan manajemen stok. *Journal of Computers and Digital Business*, 2(2). <https://doi.org/10.56427/JCBD.V2I2.98>
- Minashkina, D., & Happonen, A. (2023). Warehouse management systems for social and environmental sustainability: A systematic literature review and bibliometric analysis. *Logistics*, 7(3). <https://doi.org/10.3390/LOGISTICS7030040>
- Mohamud, I. H., Kafi, M. A., Shahron, S. A., Zainuddin, N., & Musa, S. (2023). The role of warehouse layout and operations in warehouse efficiency: A literature review. *Journal Européen des Systèmes Automatisés*, 56(1). <https://doi.org/10.18280/JESA.560109>
- Muhammad, et al. (2023). Warehouse layout design with class-based storage approach to minimize material transfer distance. [Perlu Data Tambahan: verifikasi nama penulis lengkap, jurnal, volume, dan DOI]
- Phan, M., & Tran, A. T. (2022). Development a warehouse management information system. *Applied Mechanics and Materials*. <https://doi.org/10.4028/P-78AH4R>
- Pohl, L. M., Meller, R. D., & Gue, K. R. (2011). Turnover-based storage in new unit-load warehouse designs. *IIE Transactions*, 43(10), 703-720. [Perlu Data Tambahan: verifikasi DOI]
- Rana, A. (2023). An analysis of warehouse management systems. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*. <https://doi.org/10.22214/IJRASET.2023.53808>
- Saini, R., Vaidya, O. S., Venkatasubramony, R., & Daultani, Y. (2025). Identifying critical criteria for warehouse performance using machine learning based hybrid methodology. *OPSEARCH*. <https://doi.org/10.1007/S12597-025-00959-1>
- Samsudin, A. F., Darmawan, B., Dwiyantri, V., & Mupita, J. (2023). Attributes and effect of implementation of warehouse management system (WMS) for company

- sustainability. Jurnal Teknologi Transportasi dan Logistik, 4(2). <https://doi.org/10.52920/JTTL.V4I2.202>
- Shanmugamani, K., & Mohamad, F. (2023). The implementation of warehouse management system (WMS) to improve warehouse performance in business to business (B2B). International Journal of Industrial Management, 17(4). <https://doi.org/10.15282/IJIM.17.4.2023.10091>
- Shashidharan, M. (2021). Importance of an efficient warehouse management system. <https://doi.org/10.17762/TURCOMAT.V12I5.1784>
- Silva, A., Roodbergen, K. J., Coelho, L. C., & Darvish, M. (2022). Estimating optimal ABC zone sizes in manual warehouses. International Journal of Production Economics, 252, 108579. [Perlu Data Tambahan: verifikasi DOI]
- Tayab, A., & Li, Y. (2024). The contribution of the RPA technology in enhancing better business performance in warehouse management. IEEE Access. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3470221>
- Tokat, S., Karagül, K., Şahin, Y., & Aydemir, E. (2021). Fuzzy c-means clustering-based key performance indicator design for warehouse loading operations. Journal of King Saud University: Computer and Information Sciences. <https://doi.org/10.1016/J.JKSUCI.2021.08.003>