

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA, KERANGKA PEMIKIRAN, DAN HIPOTESIS

2.1 Tinjauan Pustaka

2.1.1 Kajian teoritis

2.1.1.1 Socio-Technical System (STS)

Kajian ini mengadopsi perspektif Socio-Technical Systems (STS) sebagai landasan teoretis utama. (Trist, 1981, p. 24) menegaskan bahwa sistem operasional tidak boleh dipandang semata-mata sebagai sistem teknis, melainkan sebagai entitas yang terdiri dari dua subsistem yang saling bergantung (*interdependent*), yaitu subsistem teknis (peralatan, *slotting* , dan teknologi) dan subsistem sosial (manusia dan aspek psikologisnya). Dalam perspektif ini, keberhasilan manajemen operasional tidak ditentukan oleh kecanggihan teknologi saja, melainkan oleh tercapainya optimasi bersama (*joint optimization*) antara tuntutan teknis dan kapabilitas manusia (Trist, 1981, p. 38).

2.1.1.2 Manajemen Inventori dan Sistem Informasi

Manajemen Pergudangan Modern

Dalam *literatur* klasik, fungsi utama gudang dijelaskan sebagai penyangga (*buffer*) untuk menyeimbangkan ketidakpastian antara pasokan (*supply*) dan permintaan (*demand*), sehingga kerap dianggap sebagai pusat biaya (*cost center*) yang pasif (Gu et al., 2010). Namun, paradigma tersebut telah mengalami pergeseran fundamental. Berdasarkan tinjauan komprehensif mengenai riset operasional selama lima dekade, ditegaskan bahwa gudang modern tidak lagi

sekadar tempat penyimpanan pasif, melainkan telah berevolusi menjadi "pabrik pemenuhan" (*fulfillment factories*) yang menentukan kecepatan respons dan akurasi pesanan pelanggan (Boysen & de Koster, 2025).

Transformasi fungsi ini membawa implikasi manajerial yang signifikan, terutama bagi organisasi yang sedang mengalami fase peningkatan skala usaha (*scale-up*). Kegagalan dalam mengadaptasi sistem manajemen pada fase ini dapat menyebabkan kemacetan arus barang (*bottleneck*) yang berpotensi melumpuhkan kinerja rantai pasok secara keseluruhan (Boysen & de Koster, 2025). Mengacu pada pergeseran paradigma di atas, penelitian ini mendefinisikan manajemen pergudangan bukan lagi sekadar pengelolaan ruang simpan, melainkan pengelolaan aliran material yang dinamis. Fokus utama dalam operasional gudang saat ini adalah memastikan kecepatan dan ketepatan aktivitas, khususnya pada proses pengambilan barang (*order picking*) di tengah fluktuasi permintaan.

Metode Klasifikasi Persediaan

Untuk menerapkan kebijakan penyimpanan berbasis kelas (*Class-Based Storage*), diperlukan metode analitis untuk mengelompokkan berbagai *Stock Keeping Units* (SKU) ke dalam kategori prioritas. Analisis ABC merupakan salah satu metode klasifikasi persediaan yang banyak digunakan dalam *literatur* manajemen operasional dan didasarkan pada prinsip pareto, yang membedakan antara sedikit barang yang kritis (*critical few*) dan banyak barang yang relatif sepele (*trivial many*) (Heizer et al., 2017, p. 491). Artinya, pengelolaan persediaan sebaiknya difokuskan pada kelompok terkecil yang memberikan kontribusi terbesar

terhadap nilai atau aktivitas persediaan, bukan menyamakan perlakuan untuk semua *item*.

Dalam konteks *slotting* gudang, klasifikasi ini dapat dilakukan berdasarkan tingkat aktivitas perputaran barang (*throughput*) untuk mendukung efisiensi proses penyimpanan dan pengambilan. Mengelompokkan barang berdasarkan nilai *throughput* ke dalam tiga kelas utama, yaitu kelas A (aktivitas tinggi), kelas B (aktivitas sedang), dan kelas C (aktivitas rendah), kemudian menempatkan kelas dengan aktivitas tertinggi pada area yang paling dekat dengan titik *in/out* gudang (Imansuri et al., 2023). Pendekatan ini menggambarkan bahwa barang dengan frekuensi perputaran lebih tinggi mendapatkan prioritas lokasi yang lebih strategis guna meminimalkan jarak tempuh dan waktu pencarian.

Selain frekuensi perputaran, dimensi fisik barang juga menjadi pertimbangan penting dalam penentuan lokasi penyimpanan. Konsep *Cube-per-Order Index* (COI) didefinisikan sebagai rasio antara kebutuhan ruang penyimpanan (*volume* kubik) dan frekuensi pemesanan atau pengambilan barang, di mana *item* dengan nilai COI lebih rendah ditempatkan pada lokasi yang lebih diinginkan (Kofler, 2014). Dengan pendekatan ini, barang yang berukuran relatif kecil namun sering dipesan akan memiliki nilai COI yang lebih rendah dan cenderung dialokasikan pada lokasi yang lebih strategis dan dekat dengan titik *in/out* karena lebih efisien secara ruang dan waktu.

Dalam penelitian ini, Analisis ABC dan konsep COI akan diintegrasikan untuk merancang *slotting* usulan. Hubungan kedua metode tersebut dimaksudkan untuk memastikan bahwa barang yang ditempatkan di zona utama bukan hanya

barang dengan frekuensi permintaan tinggi, tetapi juga barang yang memberikan pemanfaatan ruang yang lebih efisien.

Sistem Informasi Manajemen Gudang

Management information system (MIS) dipahami sebagai kombinasi sumber daya manusia dan teknologi komputer yang digunakan untuk menyimpan, mengkomunikasikan, mengambil kembali, serta memanfaatkan data guna mendukung pengelolaan operasi dan proses pengambilan keputusan secara cepat dan akurat, sehingga dapat meningkatkan efisiensi operasi gudang dan efisiensi rantai pasok (Jermisittiparsert et al., 2019). Dalam konteks penelitian ini, MIS diposisikan sebagai dukungan sistem informasi sederhana yang membantu menstandarkan informasi lokasi barang, sehingga alur kerja pekerja magang atau PKL tidak lagi sepenuhnya bergantung pada hafalan individu.

Dalam konteks fluktuasi permintaan dan kebutuhan tenaga kerja gudang, *workforce management system* digunakan untuk merencanakan dan menjadwalkan tenaga kerja secara lebih fleksibel dengan memanfaatkan berbagai *item* informasi, seperti ketersediaan karyawan, jam kerja, kualifikasi, dan indikator produktivitas, sehingga perencanaan tidak lagi hanya mengandalkan perhitungan manual dan pengalaman individu semata (Kellermayr-Scheucher et al., 2023). Hasil dari penelitian tersebut mengindikasikan bahwa dukungan sistem informasi bukan lagi sekadar pelengkap, tetapi menjadi kebutuhan penting agar operasional gudang tetap efisien dan adaptif di tengah tingginya tingkat fluktuasi tenaga kerja.

Selain itu, integrasi MIS dengan *slotting* gudang terbukti mampu meningkatkan efisiensi rantai pasok. Penelitian empiris menunjukkan bahwa atribut

gudang (seperti *slotting*) memiliki dampak yang lebih signifikan terhadap efisiensi ketika dimediasi oleh dukungan sistem informasi yang memadai, karena sistem mampu menyajikan data lokasi secara real-time kepada pekerja (Jermsittiparsert et al., 2019). Dalam penelitian ini, MIS tidak diposisikan sebagai mekanisme mediasi yang muncul secara alami dari *slotting* , melainkan sebagai kondisi pendukung yang memperkuat atau memperlemah pengaruh *slotting* terhadap beban kognitif dan efisiensi. Oleh karena itu, MIS lebih tepat diposisikan sebagai variabel moderasi.

Berdasarkan fungsi strategis tersebut, penelitian ini menempatkan Dukungan MIS Sederhana sebagai variabel moderasi. Dalam konteks objek penelitian ini, MIS didefinisikan sebagai intervensi teknologi *visual* yang berfungsi mengonversi pengetahuan diam (*tacit knowledge*) mengenai lokasi barang menjadi informasi eksplisit, guna memandu pekerja magang dalam menavigasi *slotting* fisik.

2.1.1.3 *Slotting* Gudang

Keputusan operasional mengenai penugasan produk (SKU) ke lokasi penyimpanan tertentu dikenal sebagai *Storage Location Assignment Problem* (SLAP). Masalah ini bertujuan untuk mengoptimalkan fungsi objektif tertentu, seperti minimasi jarak tempuh atau maksimasi penggunaan ruang (Reyes et al., 2019).

Secara umum, terdapat tiga kebijakan utama dalam alokasi penyimpanan yang sering diperbandingkan dalam *literatur* (Gu et al., 2010; Imansuri et al., 2023):

1. Penyimpanan Acak (*Random Storage*): Barang yang masuk diletakkan di lokasi kosong mana saja yang tersedia tanpa lokasi tetap per SKU (Reyes et al., 2019). Metode ini memaksimalkan pemanfaatan ruang namun memiliki

kelemahan berupa tingginya jarak tempuh karena barang yang sering dicari tersebar di lokasi yang jauh.

2. Penyimpanan Tetap (*Dedicated Storage*): Setiap SKU memiliki lokasi spesifik yang sudah ditentukan sebelumnya sesuai dengan klasifikasinya (Gu et al., 2010; Reyes et al., 2019). Metode ini memudahkan pekerja dalam menghafal lokasi, namun cenderung boros ruang karena slot kosong tidak dapat diisi barang lain ketika stoknya menurun.
3. Penyimpanan Berbasis Kelas (*Class-Based Storage*): Metode ini merupakan jalan tengah (*trade-off*) antara efisiensi jarak dan pemanfaatan ruang. Barang dikelompokkan ke dalam kelas-kelas berdasarkan tingkat popularitasnya, di mana barang paling laku dialokasikan di zona paling strategis (Muppani & Adil, 2008).

Berdasarkan perbandingan karakteristik metode di atas, penelitian ini memilih penerapan kebijakan *Class-Based Storage* sebagai solusi penggunaan *slotting*. Pendekatan ini dinilai paling relevan untuk menyeimbangkan kebutuhan efisiensi jarak tempuh dengan keterbatasan kapasitas ruang gudang yang ada. Selain ketiga kebijakan tersebut, *literatur* juga mengenal kebijakan *Cube-per-Order Index* (COI). Kebijakan yang pertama kali diusulkan oleh Heskett (1963) ini dikenal sederhana secara operasional dan digunakan secara luas untuk mengalokasikan ruang simpan. COI didefinisikan sebagai rasio antara kebutuhan ruang penyimpanan (*cube*) suatu barang (*item*) terhadap jumlah transaksi penyimpanan/pengambilan (*S/R transactions*) *item* tersebut. Kebijakan ini bekerja dengan mengurutkan *item* berdasarkan nilai COI dari yang terkecil (*non-*

decreasing). *Item* pada urutan pertama dialokasikan pada lokasi yang paling dekat dengan titik keluar-masuk (*I/O point*), diikuti oleh *item* urutan kedua di lokasi terdekat berikutnya, dan seterusnya (Heragu, 2016, p. 293). Dengan demikian, kebijakan COI memprioritaskan barang yang memiliki frekuensi permintaan tinggi namun membutuhkan ruang penyimpanan kecil di lokasi paling strategis. Prinsip ini mendukung penggunaan klasifikasi penyimpanan vertical dalam penelitian ini, di mana barang berat lebih layak ditempatkan pada level bawah dan area yang lebih aman dijangkau, sehingga Keputusan *slotting* tidak hanya efisien secara jarak tetapi juga lebih ergonomis.

2.1.1.4 Ergonomi dan *Order Picking*

Aktivitas Order Picking

Dalam operasional pergudangan, aktivitas pengambilan pesanan atau *order picking* diidentifikasi sebagai proses inti yang paling kritis. Aktivitas ini didefinisikan sebagai proses pengambilan sejumlah barang tertentu dari lokasi penyimpanan untuk memenuhi permintaan pelanggan yang spesifik (De Koster et al., 2006). Secara ekonomis, *order picking* merupakan aktivitas yang paling padat karya (*labor-intensive*) dalam gudang manual. Aktivitas ini diperkirakan menyerap hingga 55% dari total biaya operasional gudang, terutama pada gudang dengan sistem *picker-to-parts* atau pemetik mendatangi barang (De Koster et al., 2006).

Inefisiensi dalam *order picking* sebagian besar bersumber dari pemborosan waktu perjalanan. Fakta empiris menunjukkan bahwa sekitar 50% dari total waktu kerja seorang pemetik (*picker*) dihabiskan hanya untuk berjalan kaki dari satu lokasi ke lokasi lain, sementara sisanya digunakan untuk mencari, mengambil, dan

administrasi (Tompkins, et al., 2010, dalam Boysen & de Koster, 2025). Berdasarkan *literatur* tersebut, efisiensi operasional dalam penelitian ini didefinisikan sebagai upaya reduksi waktu perjalanan yang tidak bernilai tambah. Indikator kinerja yang digunakan akan berfokus pada minimalisasi jarak tempuh dan mitigasi tingkat kesalahan yang diakibatkan oleh faktor kelelahan manusia.

Selain dipengaruhi oleh jarak tempuh dan waktu pencarian, kinerja *order picking* pada gudang manual juga berkaitan erat dengan risiko ergonomi fisik selama proses pengambilan barang. OSHA menjelaskan bahwa gangguan punggung akibat kerja dapat berkembang secara bertahap sebagai akibat dari *microtrauma* yang terakumulasi dari aktivitas berulang, dan tidak selalu muncul hanya karena satu kejadian akut. Dalam konteks manual *materials Handling*, faktor risiko yang berkontribusi antara lain *reaching while lifting, twisting while lifting, bending while lifting, maintaining bent postures, heavy lifting, fatigue, poor footing*, serta *poor design of job or work station*. Artinya, aktivitas pengambilan barang di gudang tidak hanya perlu dirancang agar cepat, tetapi juga agar meminimalkan postur janggal, jangkauan berlebih, dan beban fisik yang tidak perlu pada pekerja. Dengan demikian, evaluasi *slotting* gudang dalam penelitian ini juga relevan dilihat dari perspektif ergonomi kerja manual, khususnya pada pekerja yang melakukan pengambilan *sparepart* dari berbagai level rak secara berulang (OSHA, n.d.). Dalam penelitian ini, perspektif OSHA digunakan sebagai penguat konteks ergonomi fisik pada aktivitas *picking manual*, bukan sebagai variabel biomekanik yang diukur secara langsung.

Faktor Manusia dalam Operasi Gudang (Behavioral Operations)

Dalam banyak model optimasi pergudangan, pekerja gudang sering diperlakukan sebagai entitas rata-rata dengan kecepatan yang diasumsikan konstan. *Literatur* terbaru mengenai *behavioral warehouse research* menekankan pentingnya faktor perilaku manusia mempengaruhi kinerja pengambilan barang individu, peneliti harus mempertimbangkan batas moral dan hukum dari penelitian mereka karena kemampuan individu seperti waktu pencarian di rak dan persepsi keadilan seperti yang memiliki kemampuan tinggi dibayar dengan upah rendah (Boysen & de Koster, 2025). Artinya faktor manusia diidentifikasi sebagai variabel yang sangat dinamis dan memiliki dampak signifikan terhadap produktivitas gudang manual, terutama pada sistem *picker-to-parts*.

Konfigurasi rak dan tuntutan kognitif manusia berinteraksi dan memengaruhi *order picking performance*. Mereka menunjukkan bahwa desain sistem OP, termasuk arah perjalanan dan penomoran rak, berkaitan dengan tuntutan kognitif dalam orientasi spasial dan tugas pencarian *visual*, dan perbedaan ini tercermin dalam variasi waktu pengambilan (*pick time*) pada tugas *goal directed visual Search* di rak penyimpanan (Loske et al., 2025). Hal ini menunjukkan bahwa proses *navigasi* dan pencarian barang di gudang menuntut upaya mental yang tidak kecil. Semakin rumit dan kurang sesuai, maka akan memperpanjang waktu pencarian dan meningkatkan risiko kesalahan pengambilan.

Dalam konteks *order picking* manual, menunjukkan bahwa faktor manusia seperti *learning* dan kelelahan (*fatigue*) memiliki pengaruh signifikan terhadap kinerja, di mana proses belajar deklaratif dan prosedural dapat meningkatkan produktivitas, sementara *fatigue* cenderung menurunkan kapasitas kognitif dan

memperlambat penyelesaian daftar pengambilan (Winkelhaus et al., 2018). Temuan ini mengindikasikan bahwa kinerja pekerja gudang tidak bersifat statis, tetapi berkembang seiring pengalaman. Pekerja yang lebih berpengalaman cenderung membangun pola, hafalan lokasi, dan strategi kerja yang lebih efisien, sedangkan pekerja baru yang belum memiliki memori dan peta mental gudang harus mengandalkan pencarian *visual* yang menuntut beban kognitif lebih besar, sehingga berpotensi bekerja lebih lambat dan lebih rentan terhadap kesalahan.

Selain faktor kognitif, faktor interaksi fisik antar pekerja juga berpengaruh terhadap kinerja *order picking*. Ketika beberapa pekerja secara bersamaan pada area rak yang sama, pekerja lain tidak dapat mengambil barang dari rak tersebut dan harus menunggu, sehingga menimbulkan kemacetan lokal dan waktu tunggu tambahan. Kondisi ini didefinisikan sebagai *psychological stress* sebagai kombinasi antara frekuensi pekerja saling memasuki *personal space* dan frekuensi terjadinya *waiting* ketika tidak dapat bekerja pada rak yang sama, kemudian mengevaluasi pola *storage assignment* dan *zoning* yang mampu menurunkan total *work time* atau total *psychological stress* di lingkungan dengan banyak pekerja (Matsuda et al., 2022).

Berdasarkan tinjauan aspek perilaku di atas, penelitian ini menempatkan faktor manusia sebagai variabel mediasi yang krusial. Kinerja suatu *slotting* tidak hanya akan dinilai dari jarak tempuh teoretis, tetapi juga dari kemampuannya menurunkan beban kognitif pekerja magang yang diukur melalui waktu pencarian serta meminimalkan potensi *blocking* antar pekerja.

2.1.1.5 Manajemen Rantai Pasok (Supply Chain)

Secara fundamental, manajemen operasional (*Operations Management*) didefinisikan sebagai serangkaian aktivitas yang menciptakan nilai dalam bentuk barang dan jasa melalui proses transformasi *input* menjadi *Output* (Heizer et al., 2017, p. 4). Aktivitas ini mencakup pengelolaan sumber daya organisasi secara efektif untuk menghasilkan produk yang memenuhi standar kualitas dan efisiensi yang ditetapkan. Namun, dalam perkembangannya, pandangan mekanistik mengenai transformasi *input-output* ini dinilai tidak lagi cukup untuk menangani kompleksitas sistem kerja modern.

Dalam lanskap bisnis modern, manajemen operasional yang berbasis sosio-teknis ini terintegrasi dalam kerangka kerja Manajemen Rantai Pasok (*Supply Chain Management*). Manajemen Rantai Pasok didefinisikan sebagai koordinasi seluruh aktivitas rantai pasok yang terlibat dalam peningkatan nilai pelanggan, mulai dari pengadaan bahan baku hingga distribusi produk akhir (Heizer et al., 2017, p. 444). Efektivitas rantai pasok ini sangat bergantung pada sinkronisasi setiap mata rantai operasional, di mana keseimbangan antara efisiensi aliran barang (aspek teknis) dan kapasitas kognitif pekerja (aspek sosial) menjadi faktor penentu kelancaran distribusi.

Berdasarkan definisi tersebut, penelitian ini memandang bahwa manajemen operasional terletak pada efisiensi proses konversi sumber daya. Oleh karena itu, keberhasilan operasional suatu perusahaan sangat bergantung pada integrasi fungsi-fungsi internal, di mana fungsi pergudangan menjadi salah satu bagian yang menjamin kelancaran aliran barang.

2.1.1.6 Efisiensi Kinerja Gudang

Tujuan akhir dari setiap strategi operasional gudang adalah pencapaian efisiensi kinerja. Evaluasi kinerja gudang dilakukan dengan menilai aspek biaya, *throughput*, pemanfaatan ruang, dan tingkat layanan, sehingga memberikan umpan balik mengenai bagaimana suatu desain atau kebijakan operasional memenuhi persyaratan yang ditetapkan dan bagaimana kinerjanya dapat ditingkatkan (Gu et al., 2010). Dalam konteks *order picking*, efisiensi tersebut dapat dipahami sebagai kemampuan sistem untuk memenuhi pesanan pelanggan dengan waktu proses, jarak tempuh, dan biaya operasional serendah mungkin.

Indikator kinerja utama (*Key Performance Indicators*) yang digunakan dalam penelitian ini merujuk pada *literatur* standar pergudangan, meliputi:

1. Jarak Tempuh (*Travel distance*)

Jarak tempuh didefinisikan sebagai total panjang lintasan yang harus dilalui pekerja untuk menyelesaikan satu siklus pengambilan pesanan (De Koster et al., 2006). Dalam konteks gudang manual, indikator ini berfungsi sebagai biaya operasional karena sebagian besar waktu kerja dihabiskan untuk aktivitas berjalan dan berpindah antar lokasi penyimpanan.

2. Waktu Pencarian (*Searching time*)

Didefinisikan sebagai waktu sejak *picker* tiba di lokasi rak hingga *item* teridentifikasi, intervensi sistem lokasi mampu mengurangi komponen waktu pencarian secara drastis (hingga 93-100%) sekaligus mempercepat persiapan pengambilan (Pereira et al., 2019). Artinya efisiensi waktu sangat dipengaruhi oleh seberapa cepat pekerja mengidentifikasi barang.

Mengacu pada indikator tersebut, penelitian ini menetapkan efisiensi sebagai variabel dependen. Keberhasilan model *slotting* usulan akan dinilai dari penurunan total jarak tempuh (meter) dan waktu operasi total (detik) khususnya komponen waktu pencarian sebagai komponen yang paling relevan pada konteks gudang manual.

2.1.1.7 Simulasi kejadian diskrit (*Discrete Event Simulation*)

DES secara umum dipahami sebagai pemodelan sistem di mana perubahan status (kejadian) terjadi pada titik-titik waktu yang terpisah (*discrete*), sehingga memungkinkan peneliti untuk meniru perilaku sistem dan mengevaluasi dampak berbagai skenario perbaikan dari waktu ke waktu (Saini et al., 2025). Untuk menganalisis sistem yang kompleks dan dinamis seperti operasional gudang, pendekatan analitis statis (rumus matematika biasa) sering kali tidak memadai karena sulit menangkap variabilitas dan interaksi proses yang terjadi dari waktu ke waktu. Oleh karena itu, metodologi *Discrete Event Simulation* (DES) digunakan sebagai pendekatan utama.

DES merupakan metode simulasi yang paling banyak digunakan untuk menganalisis pengaruh berbagai kebijakan operasional dan konfigurasi gudang terhadap kinerja, karena mampu mengintegrasikan ketidakpastian dan interaksi antar komponen sistem secara realistis (Saini et al., 2025). Keunggulan utama DES dalam riset pergudangan adalah kemampuannya merepresentasikan ketidakpastian (*stochasticity*) dalam operasi. Dalam sistem manual (*picker to parts*), elemen-elemen seperti waktu kedatangan pesanan, kecepatan berjalan pekerja, dan waktu pencarian barang tidak bersifat konstan, melainkan mengikuti distribusi

probabilitas tertentu yang memengaruhi indikator kinerja utama seperti *throughput*, waktu tunggu, dan waktu siklus.

Dalam konteks operasi *order picking* manual, (Bahrami et al., 2017) menggunakan simulasi berbasis perangkat lunak FlexSim untuk menganalisis fenomena *picker blocking* (kemacetan di lorong) dan mengukur dampaknya terhadap jarak tempuh, tabrakan antar *picker*, serta waktu penyelesaian pesanan. Meskipun Bahrami et al. tidak secara eksplisit menyebut istilah *Discrete Event Simulation*, tinjauan yang dilakukan (Saini et al., 2025) mengklasifikasikan FlexSim sebagai salah satu perangkat lunak utama yang digunakan dalam studi *Discrete Event Simulation* untuk analisis kinerja operasional gudang. Karena (Bahrami et al., 2017) menggunakan simulasi berbasis FlexSim, yang dalam tinjauan (Saini et al., 2025) dikategorikan sebagai salah satu perangkat lunak utama untuk *Discrete Event Simulation*, model simulasi yang mereka kembangkan secara fungsional dapat dipandang sebagai penerapan DES dalam konteks sistem *order picking* manual.

Berdasarkan karakteristik tersebut, penelitian ini mengadopsi *Discrete Event Simulation* sebagai alat analisis. Pemilihan metode ini didasarkan pada kebutuhan untuk memodelkan perilaku dinamis pekerja magang yang memiliki variabilitas waktu pencarian tinggi serta untuk menguji efektivitas intervensi *slotting* dan sistem informasi dalam lingkungan virtual yang terkontrol sebelum diterapkan secara nyata. Secara teknis, model DES dalam penelitian ini diimplementasikan secara kustom menggunakan *Microsoft Excel Visual Basic for Application* (VBA), yang memungkinkan pemrograman logika kejadian diskrit

(*event*), pembaruan status sistem, serta pencatatan kinerja secara terstruktur tanpa bergantung pada perangkat lunak simulasi komersial.

Selain pemilihan metode simulasi, kualitas suatu model DES juga sangat ditentukan oleh proses verifikasi dan validasinya. Sargent (2013) menjelaskan bahwa *verification* merupakan proses untuk memastikan bahwa program komputer dari model terkomputerisasi beserta implementasinya telah dibangun dengan benar, sedangkan *validation* merupakan pembuktian bahwa model, dalam domain penerapannya, memiliki tingkat akurasi yang memadai sesuai tujuan penggunaannya. Dalam pandangan ini, model simulasi tidak dituntut benar secara absolut untuk semua kondisi, tetapi harus cukup akurat untuk menjawab tujuan studi yang telah ditetapkan. Sargent juga membagi evaluasi model simulasi ke dalam empat aspek utama, yaitu data *validity*, *conceptual model validity*, *computerized model verification*, dan *operational validity*. Kerangka ini relevan bagi penelitian ini karena model DES yang dibangun tidak hanya harus mampu dijalankan secara teknis dalam Excel VBA, tetapi juga harus didukung data yang memadai, asumsi konseptual yang wajar, logika pemrograman yang benar, dan keluaran model yang realistis untuk membandingkan kinerja *slotting existing* dan *slotting* usulan (Sargent, 2013). Dengan demikian, penggunaan DES dalam penelitian ini tidak hanya dipandang sebagai alat eksperimen *virtual*, tetapi juga sebagai model analitis yang harus melalui prosedur verifikasi dan validasi secara sistematis agar hasilnya layak dijadikan dasar pengambilan kesimpulan penelitian (Sargent, 2013). Atas dasar itu, penelitian ini tidak hanya menekankan

pembangunan model simulasi, tetapi juga menekankan prosedur verifikasi dan validasi model secara sistematis sebagaimana dijelaskan lebih lanjut pada BAB III.

2.1.2 Kajian empiris

Tabel 2. 2 Penelitian Terdahulu

No	Peneliti, Tahun, Tempat Penelitian	Persamaan	Perbedaan	Hasil Penelitian	Sumber Referensi
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
1.	(Imansuri et al., 2023), Indonesia.	Sama-sama meneliti perbaikan <i>slotting</i> gudang menggunakan metode <i>Class-Based Storage</i> dengan pengelompokan barang berdasarkan tingkat perputaran (<i>Fast/Slow moving</i>).	Penelitian ini menggunakan asumsi <i>human control</i> (kecepatan kerja manusia dianggap konstan). Penelitian penulis memperhitungkan faktor manusia dinamis (magang) yang memiliki variabilitas waktu kerja.	Penerapan metode <i>Class Based Storage</i> menurunkan total jarak tempuh sebesar 19% dan ongkos material <i>Handling Dedicated</i> .	Jurnal Serambi Engineerin g; Vol: 8; No: 4; ISSN: 2528-3561 (p-ISSN); 2541-1934 (e-ISSN); Penerbit: Fakultas Teknik Universitas Serambi Mekkah.
2.	(Matsuda et al., 2022), Jepang.	Sama-sama menjadikan aspek perilaku manusia (seperti stres/beban kerja) sebagai tolak	Matsuda melakukan intervensi melalui perubahan lokasi rak dinamis. Penelitian penulis melakukan intervensi melalui	Kepadatan aktivitas di lorong gudang menyebabkan stres psikologis dan <i>blocking</i> . Penugasan dinamis efektif	Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
		ukur keberhasilan <i>slotting</i> .	Sistem Informasi (MIS) untuk memandu pekerja.	mengurangi stres tersebut.	Manufactur ing; Vol: 16; No: 5; ISSN: 1881-3054; Penerbit: The Japan Society of Mechanical Engineers (JSME).
3.	(Loske et al., 2025), Jerman.	Menggunakan variabel Beban Kognitif (<i>Cognitive Load</i>) dan Waktu Pencarian sebagai indikator utama inefisiensi.	Penelitian Loske dilakukan melalui eksperimen laboratorium terkontrol. Penelitian penulis menerapkan variabel tersebut ke dalam Simulasi Kejadian Diskrit menggunakan data riwayat transaksi gudang yang sebenarnya (real data).	Tingkat kerumitan rak berpengaruh signifikan terhadap beban kognitif. Beban kognitif tinggi menurunkan akurasi dan kecepatan <i>picking</i> .	Internation al Journal of Production <i>Research</i> ; Vol: 63; No: 6; ISSN: 0020-7543; Penerbit: Taylor & Francis.
4.	(Jermisittipa rsert et al., 2019), Indonesia.	Menempatkan Sistem Informasi Manajemen (MIS) sebagai variabel mediasi antara <i>slotting</i> dan efisiensi.	Menggunakan metode survei persepsi. Penelitian penulis menguji peran moderasi secara kuantitatif operasional (waktu &	Atribut gudang berpengaruh lebih signifikan terhadap efisiensi rantai pasok ketika dimediasi oleh dukungan sistem informasi.	Internation al Journal of Innovation, Creativity and Change;

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
			jarak) melalui simulasi.		Vol: 7; No: 7; ISSN: 2201-1315; Penerbit: IJICC.
5. (Kellermayr-Scheuchner et al., 2023), Austria.	Mengangkat fenomena fluktuasi tenaga kerja (<i>workforce fluctuation</i>) sebagai tantangan utama operasional.	Penelitian terdahulu bersifat kualitatif. Penelitian penulis melakukan pembuktian melalui simulasi sistem untuk mengukur dampak pada pekerja baru.	Hasil penelitian mengonfirmasi bahwa dukungan keputusan cerdas (<i>intelligent decision support</i>) sangat relevan dan krusial untuk mengatasi perubahan jangka pendek (<i>short term changes</i>) dalam manajemen rantai pasok dan tenaga kerja gudang. Fluktuasi tenaga kerja mengharuskan adanya sistem manajemen sebagai penyimpanan pengetahuan (<i>knowledge repository</i>) agar kinerja stabil.	Procedia Computer Science; Vol: 219; No: Suppl. C; ISSN: 1877-0509; Penerbit: Elsevier.	
6. (Isnaeni & Susanto, 2022), Indonesia.	Sama-sama menerapkan perbaikan <i>slotting Class Based</i>	Fokus pada perbaikan jarak fisik semata. Penelitian penulis melengkapi	Perancangan ulang <i>slotting</i> menghasilkan penurunan jarak tempuh yang	Journal of Industrial Engineering and	

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
		<i>Storage</i> pada gudang produk jadi.	dengan intervensi sistem informasi untuk membantu adaptasi pekerja.	signifikan dan aliran barang yang lebih teratur.	Operation Management (JIEOM); Vol: 5; No: 2; ISSN: 2620-8148; Penerbit: Universitas Islam Kalimantan Muhammad Arsyad Al Banjari.
7. (Muppani & Adil, 2008), India.	Menggunakan algoritma pembentukan kelas (<i>class formation</i>) untuk optimalisasi metode COI.	Menggunakan model matematika murni yang statis. Penelitian penulis menggunakan simulasi dinamis dengan variabilitas waktu kerja manusia.	Pengembangan model pembentukan kelas penyimpanan yang optimal untuk meminimalkan biaya pengambilan pesanan.	Omega; Vol: 36; No: 4; ISSN: 0305-0483; Penerbit: Elsevier.	
8. (Reyes et al., 2019), Colombia	Membahas masalah <i>Storage Location Assignment Problem</i> (SLAP) sebagai inti inefisiensi.	Merupakan artikel tinjauan <i>literatur (review)</i> . Penelitian penulis merupakan studi empiris (simulasi) penerapan teori SLAP.	SLAP diklasifikasikan berdasarkan metode penyimpanan, struktur gudang, dan tujuan optimasi yang berbeda-beda.	International Journal of Industrial Engineering Computations; Vol: 10; No: 2; ISSN: 1923-2926;	

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
					Penerbit: Growing Science.
9.	(Winkelhaus et al., 2018), Jerman.	Meneliti dampak kondisi manusia (limitasi fisik/mental) terhadap kinerja <i>order picking</i> .	Fokus pada dampak kelelahan fisik (fatigue). Penelitian penulis fokus pada dampak beban kognitif (kebingungan lokasi) pada pekerja baru.	Kelelahan fisik pekerja secara signifikan mempengaruhi kurva pembelajaran dan kecepatan operasi pengambilan barang.	IFAC-PapersOnline; Vol: 51; No: 11; ISSN: 2405-8963; Penerbit: Elsevier.
10.	(Koreis, 2025), Jerman.	Membahas dinamika pengalaman pekerja dalam tim operasional.	Fokus pada interaksi tim. Penelitian penulis fokus pada kinerja individu pekerja magang (<i>novice</i>) yang dibantu sistem.	Terdapat perbedaan kinerja yang signifikan antara tim pekerja berpengalaman dibandingkan dengan tim pemula.	Computers & Industrial Engineering; Vol: 200; No: —; ISSN: 0360-8352; Penerbit: Elsevier.
11.	(Saini et al., 2025), India.	Sama-sama menggunakan pendekatan Simulasi untuk mengevaluasi kinerja operasional gudang yang mengandung ketidakpastian.	Paper review metodologi. Penelitian penulis adalah aplikasi praktis simulasi untuk memecahkan masalah lapangan.	Simulasi adalah metode yang paling efektif untuk mengevaluasi kinerja gudang dalam kondisi stokastik (tidak pasti).	Journal of Simulation; Vol: 19; No: 4; ISSN: 1747-7778; Penerbit: Taylor & Francis.

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
12.	(Bahrami et al., 2017), Italia.	Menggunakan simulasi untuk menganalisis kemacetan fisik (<i>picker blocking</i>).	Fokus hanya pada kemacetan fisik. Penelitian penulis menggabungkan <i>blocking</i> dengan simulasi pencarian mental (<i>searching</i>).	Kepadatan pekerja di lorong sempit menyebabkan waktu tunggu signifikan yang sering terabaikan oleh metode perhitungan kapasitas standar	Procedia Manufactur ing; Vol: 11; No: –; ISSN: 2351-9789; Penerbit: Elsevier.
13.	(Boysen & de Koster, 2025), Belanda.	Menyoroti pentingnya riset berbasis perilaku (<i>behavioral research</i>) di masa depan.	Paper tinjauan sejarah riset. Penelitian penulis adalah respon empiris atas tantangan riset masa depan dalam paper ini.	Riset pergudangan masa depan harus beralih dari optimasi mesin ke pemahaman interaksi manusia dan sistem.	European Journal of Operational Research; Vol: 320; No: 3; ISSN: 0377-2217; Penerbit: Elsevier.
14.	(De Koster et al., 2006), Belanda.	Menetapkan standar indikator efisiensi <i>order picking</i> (Waktu, Jarak, Biaya).	Menjadi landasan teori indikator. Penelitian penulis memperluas indikator dengan menambahkan variabel beban kognitif.	<i>Order picking</i> adalah aktivitas dengan prioritas tertinggi untuk perbaikan karena menyerap 55% biaya operasional.	European Journal of Operational Research; Vol: 182; No: 2; ISSN: 0377-2217; Penerbit: Elsevier.
15.	(Gu et al., 2010), USA.	Mengklasifikasikan masalah desain gudang dan evaluasi kinerjanya.	Tinjauan <i>literatur</i> umum. Penelitian penulis mengintegrasikan	Desain gudang yang komprehensif harus mencakup struktur, <i>slotting</i> , dan strategi	European Journal of Operational Research;

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
			masalah desain (<i>layout</i>) dengan masalah perilaku pekerja.	operasi yang terintegrasi.	Vol: 203; No: 3; ISSN: 0377-2217; Penerbit: Elsevier.
16. (Pérez- Gosende et al., 2024), Spanyol.	Membahas perencanaan <i>slotting</i> fasilitas (<i>layout planning</i>) untuk efisiensi operasional.	Menggunakan pendekatan optimasi <i>Bottom-up Multi objective</i> khusus untuk <i>slotting</i> yang dinamis (sering berubah), berbeda dengan penulis menggunakan DES.	Menghasilkan model yang responsif terhadap perubahan kebutuhan ruang dan aliran material tanpa mengganggu operasi secara drastis.	International Journal of Production <i>Research</i> ; Vol: 62, No: 3; ISSN: 0020-7543; Penerbit: Taylor & Francis.	
17. (Setayesh et al., 2025), Jerman.	Memiliki kesamaan fokus pada aspek Faktor Manusia (<i>Human Factors</i>) dalam operasional gudang untuk mengurangi kesalahan.	Peneliti fokus pada pengembangan alat asesmen kualitas (<i>Assessment Tool</i>), sedangkan penulis mengintegrasikan faktor manusia (beban kognitif) langsung ke dalam perancangan <i>slotting</i> dan disimulasikan kinerjanya.	Mengembangkan <i>Warehouse Error Prevention Tool</i> (WEPT) untuk membantu manajer mengidentifikasi risiko kualitas dari interaksi manusia- sistem.	Ergonomic s, Vol: 68, No. 7, ISSN 0014- 0139, Penerbit: Taylor & Francis.	

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
18. (Kübler et al., 2020), Jerman.	Fokus pada optimasi lokasi penyimpanan (<i>Storage Location Assignment</i>) dan efisiensi <i>order picking</i> .	Peneliti menggunakan metode iteratif untuk menyelesaikan masalah <i>joint problem</i> (batching & routing) secara matematis, sedangkan penulis fokus pada desain <i>Class-Based Storage</i> yang dievaluasi secara komparatif menggunakan simulasi.	Metode iteratif yang diusulkan terbukti lebih unggul dibandingkan perencanaan sekuensial dalam meminimalkan waktu penyelesaian pesanan.	Computers & Industrial Engineerin g, Vol. 147, No. – (artikel no. 106645), ISSN 0360-8352 Penerbit: Elsevier.	
19. (Tabatabaei et al., 2021), Iran.	Mengkaji masalah penugasan penyimpanan (<i>Storage Assignment</i>) untuk efisiensi gudang.	Peneliti mengadaptasi metode fisika (<i>Finite Element Method</i>) ke dalam algoritma optimasi, berbeda dengan penulis yang menggunakan pendekatan Simulasi Skenario (What-If Analysis) berbasis data <i>historis</i> .	Algoritma SAO/FEM yang dihasilkan meningkatkan fleksibilitas dan responsivitas sistem penyimpanan otomatis.	PeerJ Computer Science, Vol. 7, No. – (artikel e378), ISSN 2376-5992, Penerbit: PeerJ, Inc.	
20. (Boysen et al., 2023), Jerman.	Membahas efisiensi proses pemenuhan pesanan (<i>order fulfillment</i>) di gudang.	Peneliti fokus pada sistem Parts to Picker (Otomatis/Robotik), sedangkan penulis fokus pada sistem	Memberikan klasifikasi masalah sinkronisasi dan tinjauan model penjadwalan untuk	European Journal of Operational Research, Vol. 307,	

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
			Manual <i>Picking</i> dengan intervensi <i>layout</i> dan sistem informasi.	meminimalkan waktu tunggu <i>picker</i> atau robot.	No. 3, ISSN 0377-2217 Penerbit: Elsevier.
21.	(Kembro & Norrman, 2025), Sweden.	Mengkaji strategi sistem pergudangan untuk mendukung daya saing operasional.	Peneliti menggunakan pendekatan Kualitatif Strategis (Studi Kasus), sedangkan penulis menggunakan pendekatan Kuantitatif melalui pemodelan simulasi operasional (DES).	Mengidentifikasi prioritas kompetitif dan menghubungkan niat strategis perusahaan dengan keputusan desain automasi gudang.	International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, Vol. 55, No. 11, ISSN 0960-0035 Penerbit: Emerald Publishing Limited.
22.	(Zarinchan g et al., 2024), China.	Sama-sama mengintegrasikan faktor Keselamatan/Manusia ke dalam masalah penugasan lokasi penyimpanan.	Peneliti menggunakan algoritma adaptif untuk <i>safety</i> dan stabilitas rak, sedangkan penulis menggunakan pembobotan beban kognitif pada zona penyimpanan yang diuji dengan simulasi.	Menunjukkan <i>trade-off</i> yang optimal antara efisiensi waktu pengambilan pesanan dan peningkatan keselamatan pekerja di gudang.	Journal of Industrial and Production Engineering, Vol. 41, No. 1, ISSN 2168-1015 Penerbit: Taylor &

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
					Francis Ltd.
23. (Kapou et al., 2022), Greece.	Mengusulkan perbaikan desain <i>slotting</i> dan strategi penyimpanan barang.	Peneliti fokus pada pengurangan kelelahan fisik (<i>fatigue</i>) menggunakan metode analitis, sedangkan penulis menggabungkan beban kognitif dengan Simulasi Kejadian Diskrit untuk melihat dampak pada waktu total.	Metode ini menghasilkan keseimbangan antara efisiensi operasional dan kesejahteraan (<i>well-being</i>) pekerja gudang manual.	Logistics, Vol. 6, No. 4, ISSN 2305-6290, Penerbit: MDPI.	
24. (Plakas et al., 2020), Greece.	Bertujuan meningkatkan produktivitas pada proses <i>manual order picking</i> .	Peneliti menggunakan intervensi perangkat keras (Augmented Reality/Smart Glasses), sedangkan penulis menggunakan intervensi <i>Slotting</i> dan Sistem Informasi (MIS) tanpa alat bantu <i>visual AR</i> .	Implementasi AR terbukti mendukung pekerja dalam tugas repetitif dan mengurangi tingkat kesalahan pengambilan barang secara signifikan.	Procedia Manufacturing, Vol. 51, No. –, ISSN 2351-9789, Penerbit: Elsevier B.V	
25. (Saderova et al., 2022), Slovakia.	Sama-sama menggunakan metode Simulasi untuk mengevaluasi aktivitas gudang.	Peneliti memfokuskan simulasi pada area Penerimaan/Unloading (Forklift),	Simulasi berhasil mengidentifikasi waktu siklus dan <i>bottleneck</i> pada area penerimaan barang	Wireless Networks, Vol. 28, No. 1, ISSN 1022-	

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
			sedangkan penulis memfokuskan simulasi pada area <i>Order picking</i> (Manual) dan dampaknya terhadap <i>slotting</i> .	untuk perbaikan alokasi sumber daya.	0038 Penerbit: Springer Nature
26.	(Abidin et al., 2021), Malaysia.	Sama-sama menggunakan metode Simulasi untuk merancang ulang <i>slotting</i> (<i>re-layout</i>) gudang guna memperbaiki kinerja.	Peneliti fokus pada masalah Kapasitas Penyimpanan akibat lonjakan permintaan mendadak (pandemi), sedangkan penulis fokus pada efisiensi Waktu/Jarak <i>Picking</i> dan beban kerja operator. Serta untuk softwarenya peneliti menggunakan 3D anylogic dan penulis menggunakan excel VBA.	Usulan <i>re-layout</i> yang divalidasi simulasi berhasil meningkatkan kapasitas penyimpanan efektif dan memperlancar aliran barang.	INTERNATIONAL JOURNAL OF INDUSTRIAL MANAGEMENT (IJIM); Nomor: Issue 1; Volume: 10; ISSN: 2289-9286 (ISSN) Penerbit: Penerbit UMP
27.	(Khalilabad i et al., 2024), India.	Membahas optimasi <i>slotting</i> fasilitas (<i>Facility Layout Problem</i>) untuk meminimalkan jarak.	Peneliti menggunakan Optimasi Matematis berdasarkan data urutan perjalanan dari IoT, sedangkan penulis menggunakan metode	Desain <i>slotting</i> yang mempertimbangkan urutan perjalanan nyata mengurangi jarak tempuh internal lebih baik daripada metode konvensional.	International Journal of Production Research; Nomor: – Volume: –

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
			Simulasi Kejadian Diskrit (DES) berbasis data <i>historis</i> transaksi.		ISSN: 0020-7543 Penerbit: Informa UK Limited (trading as Taylor & Francis Group).
28. (Albert et al., 2025), Canada.	Meneliti masalah alokasi produk (<i>Product Allocation</i>) untuk memaksimalkan ruang.	Peneliti fokus pada batasan fisik Stackability (kemampuan tumpuk) produk heterogen secara matematis, sedangkan penulis fokus pada batasan Beban Kognitif manusia dalam simulasi.	Model alokasi baru meningkatkan densitas penyimpanan and dan mengurangi waktu pengambilan untuk <i>spare parts</i> dengan fisik beragam.	Journal of Industrial and Production Engineering; Nomor: –	ISSN: 2168-2194 Penerbit: Informa UK Limited (trading as Taylor & Francis Group).
29. (Maruyama & Yamazaki, 2022), Jepang.	Bertujuan meningkatkan efisiensi proses <i>picking</i> manual di gudang.	Peneliti melakukan optimasi gabungan (<i>co-optimization</i>) antara Batching dan lokasi, sedangkan	Optimasi gabungan terbukti jauh lebih efektif mengurangi waktu perjalanan	Bulletin of the JSME / Journal of Advanced Mechanical	

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
			penulis fokus pada integrasi <i>Layout</i> Class-Based dengan dukungan Sistem Informasi (MIS).	<i>picker</i> dibandingkan optimasi terpisah.	Design, Systems, and Manufacturing; Nomor: 5; <i>Volume</i> : 16; ISSN: 1881-3054 Penerbit: Japan Society of Mechanical Engineers.
30. (de Oliveira et al., 2022), Portugal	Fokus pada perbaikan aliran logistik fisik di dalam fasilitas gudang.	Peneliti menggunakan metode Action <i>Research</i> pada area Penerimaan (<i>Receiving</i>), sedangkan penulis menggunakan metode Simulasi Kuantitatif pada area Pengambilan (<i>Picking</i>).	Standarisasi prosedur penerimaan berhasil mengurangi waktu siklus pembongkaran dan meningkatkan kelancaran aliran material masuk.	Logistics; Nomor: Article 22; <i>Volume</i> : 6; ISSN: 2305-6290; Penerbit: MDPI (Basel, Switzerland).	
31. (Ardiansyah et al., 2024), Indonesia.	Sama-sama menggunakan Simulasi Kejadian Diskrit (DES) yang dikombinasikan dengan Analisis	Peneliti menggunakan Double ABC (Frekuensi & <i>Volume</i>), sedangkan penulis menggunakan	Penataan ulang berdasarkan klasifikasi Double ABC terbukti secara statistik mengurangi waktu perpindahan	Procedia Computer Science; Nomor: –; <i>Volume</i> : 234; ISSN:	

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
		ABC untuk perbaikan <i>slotting</i> .	ABC Analysis yang ditambah dengan parameter Beban Kognitif.	(<i>moving time</i>) operator.	1877-0509; Penerbit: Elsevier B.V
32.	(De Carvalho Paula et al., 2025), Portugal.	Menggunakan simulasi untuk memperbaiki desain <i>slotting</i> dan proses <i>picking</i> .	Peneliti menggabungkan DES dengan Agent-Based Simulation (ABS) untuk perilaku detail individu, sedangkan penulis menggunakan DES berbasis skenario sistem komparatif.	Skenario perbaikan <i>slotting</i> berhasil meningkatkan produktivitas (kotak/jam) dalam lingkungan PBL yang padat dan sibuk.	Procedia Computer Science; Nomor: –; Volume: 263; ISSN: 1877-0509; Penerbit: Elsevier B.V.
33.	(Zhang et al., 2021), Canada.	Mengintegrasikan masalah penyimpanan gudang dengan fungsi operasional lain.	Peneliti menggunakan model Integer Linear Programming (ILP) yang terintegrasi dengan rencana produksi, sedangkan penulis menggunakan pendekatan Simulasi untuk evaluasi <i>slotting</i> gudang mandiri.	Model terintegrasi meminimalkan total biaya operasi dan memaksimalkan pemanfaatan ruang melalui kebijakan penyimpanan acak berbasis data.	International Journal of Production Economics; Nomor: Article 108058; Volume: 234; ISSN: 0925-5273; Penerbit: Elsevier B.V.
34.	(H. Zhou, 2024), China.	Bertujuan meningkatkan efisiensi dan	Peneliti fokus pada aspek teknis perangkat keras (PLC & Kontrol),	Meningkatkan akurasi kontrol peralatan dan efisiensi operasional	Procedia Computer Science; Nomor: –;

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
		kontrol pada sistem pergudangan.	sedangkan penulis fokus pada aspek manajerial dan desain spasial (<i>Layout & Zonasi</i>) yang diuji lewat simulasi.	melalui antarmuka yang memudahkan operator memantau status gudang.	<i>Volume:</i> 243; ISSN: 1877-0509; Penerbit: Elsevier B.V.
35.	(Klaue et al., 2025), Jerman.	Sama-sama mengangkat isu Human-Centric (berpusat pada manusia) dalam aktivitas <i>order picking</i> .	Peneliti menggunakan pendekatan Kualitatif (Wawancara & Model JD-R), sedangkan penulis menggunakan pendekatan Kuantitatif (Simulasi) dengan memasukkan faktor manusia sebagai parameter bobot.	Menemukan bahwa keseimbangan antara tuntutan kerja (fisik/waktu) dan sumber daya (dukungan/umpan balik) krusial untuk keberlanjutan kinerja <i>picking</i> .	Procedia Computer Science; Nomor: –; <i>Volume:</i> 253; ISSN: 1877-0509; Penerbit: Elsevier B.V.
36.	(Kofler, 2014), Jerman.	Mengkaji masalah penugasan lokasi penyimpanan (<i>Storage Location Assignment Problem</i>) untuk efisiensi <i>picking</i> .	Peneliti menggunakan model matematis dinamis multi-periode, sedangkan penulis menggunakan pendekatan Simulasi (DES)	Mengusulkan strategi seleksi " <i>robust</i> " untuk relokasi barang yang meminimalkan gangguan operasional namun tetap menjaga efisiensi rute pengambilan secara signifikan.	Jenis terbitan: Disertasi/P hD Thesis; <i>Volume:</i> –; Nomor: –; ISSN: –; Penerbit: Johannes Kepler University Linz

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
					(JKU), Linz, Austria.
37. (Rahmani Mokarrari et al., 2025), Canada.	Fokus pada optimasi proses pengambilan pesanan (<i>order picking</i>) untuk memaksimalkan <i>throughput</i> .	Peneliti menggunakan model Pemrograman Matematis (Simultan vs Sekuensial), sedangkan penulis menggunakan pendekatan Simulasi (DES) untuk membandingkan kinerja antar skenario.	Pendekatan simultan terbukti lebih unggul dalam memaksimalkan jumlah pesanan yang terambil dan menyeimbangkan beban kerja dibandingkan metode bertahap.	Applied Mathematic al Modelling; <i>Volume</i> : 137; Nomor: -; ISSN: 0307- 904X; Penerbit: Elsevier Inc.	
38. (A. Kovács, 2009), Hungary.	Membahas masalah penugasan penyimpanan (<i>Storage Assignment</i>) di gudang.	Peneliti menggunakan model Mixed-Integer Programming (MIP) dengan probabilitas permintaan berkorelasi, sedangkan penulis menggunakan Simulasi (DES) dengan <i>input</i> data <i>historis</i> transaksi.	Strategi penyimpanan berbasis kelas (<i>class- based</i>) yang diusulkan menghasilkan peningkatan efisiensi 36-38% dibandingkan kebijakan <i>Cube-per- Order Index</i> (COI) standar.	Internation al Journal of Production Economics; <i>Volume</i> : 133; Nomor: 1; ISSN: 0925-5273 Penerbit: Elsevier B.V.	

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
39.	(de Assis et al., 2025), Canada.	Menyediakan data empiris mengenai operasi <i>order picking</i> di dunia nyata.	Peneliti fokus pada penyediaan Dataset dan Benchmarking algoritma, sedangkan penulis melakukan Studi Empiris menggunakan Simulasi pada kasus spesifik.	Dataset ini memvalidasi bahwa dalam kondisi tertentu (seperti batasan fisik rak), strategi penyimpanan acak (<i>random</i>) masih bisa efisien jika didukung rute yang optimal.	Data <i>in</i> Brief; <i>Volume</i> : 61; Nomor: -; ISSN: 2352-3409; Penerbit: Elsevier Inc.
40.	(Rahayu & Silitonga, 2024)), Indonesia.	Sama-sama fokus pada perbaikan <i>slotting</i> gudang dengan metode <i>Class Based Storage</i> .	Peneliti menggunakan perhitungan jarak statis (matematis) untuk validasi, sedangkan penulis menggunakan Simulasi Kejadian Diskrit (DES) untuk melihat dampak dinamis terhadap waktu operasional.	Perancangan ulang <i>slotting</i> berdasarkan prioritas <i>fast-moving</i> berhasil mengurangi total jarak tempuh <i>material Handling</i> dan meningkatkan utilitas ruang.	Journal of Integrated System (JIS); <i>Volume</i> : 7; Nomor: 1; ISSN: 2621-7104; Penerbit: Program Studi Teknik Industri, Universitas Kristen Maranatha (Bandung).
41.	(Helm et al., 2024), Sweden.	Menganalisis kesalahan pemenuhan pesanan (<i>order</i>	Peneliti menggunakan metode Studi Kasus Kualitatif dan Analisis Video	Mengungkap bahwa sebagian besar kesalahan yang dilaporkan pelanggan sebenarnya	International Journal of Production Research; <i>Research</i> ;

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
		<i>fulfilment errors</i>) di gudang.	Cerdas, sedangkan penulis menggunakan pendekatan Kuantitatif (Simulasi) dengan parameter beban kognitif.	disebabkan oleh klaim yang salah, kesalahan <i>inbound</i> , atau malfungsi teknologi, bukan kesalahan <i>picker</i> .	<i>Volume:</i> 62; Nomor: 11; ISSN: 0020-7543 Penerbit: Informa UK Limited (Taylor & Francis Group).
42.	(Guo et al., 2021), China.	Meneliti strategi penyimpanan untuk barang di area <i>picking</i> depan (<i>forward picking area</i>).	Peneliti menggunakan algoritma Dekomposisi Integer Programming, sedangkan penulis menggunakan Simulasi (DES) untuk menguji skenario penempatan barang.	Algoritma ini secara signifikan mengurangi jarak perjalanan untuk proses pengisian ulang dan pengambilan dibandingkan metode heuristik praktis yang umum digunakan.	Transportation <i>Research</i> Part E: Logistics and Transportation Review; <i>Volume:</i> 151; Nomor: -; ISSN: 1366-5545 Penerbit: Elsevier Ltd.
43.	(L. Zhou et al., 2020), China	Sama-sama menggunakan metode Simulasi untuk memvalidasi	Peneliti menggunakan algoritma Data Mining (Clustering &	Metode klastering K-means terbukti mengurangi jarak pengambilan lebih	Soft Computing; <i>Volume:</i> 24; Nomor:

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
		strategi penyimpanan yang diusulkan.	Association Rules) untuk menentukan kelas barang, sedangkan penulis menggunakan Analisis ABC yang diberi bobot faktor manusia.	dari 25% dibandingkan kebijakan penyimpanan acak (<i>random storage</i>).	-; ISSN: 1432-7643 Penerbit: Springer Berlin Heidelberg (Springer).
44.	(Stockinger et al., 2020), Jerman.	Mengevaluasi dampak teknologi dan metode <i>picking</i> terhadap kondisi pekerja (<i>Human Factors</i>).	Peneliti melakukan Eksperimen Fisik (mengukur detak jantung & NASA-TLX), sedangkan penulis memodelkan faktor tersebut ke dalam Simulasi Komputer (DES).	<i>Pick-by-Light</i> meningkatkan ketegangan fisiologis (detak jantung) namun tidak menurunkan kesadaran situasi secara signifikan; metode kertas justru dirasa lebih membebani secara subjektif.	Procedia Manufacturing; <i>Volume:</i> 45; Nomor: -; ISSN: 2351-9789; Penerbit: Elsevier Ltd.
45.	(Pereira et al., 2019), Portugal.	Fokus pada optimasi proses <i>order picking</i> manual untuk meningkatkan efisiensi waktu operasi di gudang.	Peneliti fokus pada implementasi perangkat keras Sistem Lokalisasi <i>Visual</i> , sedangkan penulis fokus pada intervensi <i>Slotting</i> dan Zonasi yang diuji lewat simulasi.	Implementasi sistem lokalisasi terbukti mengurangi waktu pencarian barang (<i>searching time</i>) secara drastis, meningkatkan akurasi stok, dan mengurangi ketergantungan pada hafalan lokasi oleh operator.	Procedia Manufacturing; <i>Volume:</i> 38; Nomor: -; ISSN: 2351-9789; Penerbit: Elsevier B.V.

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
46. (Ernawati et al., 2023), Indonesia.	Menganalisis pengaruh <i>slotting</i> gudang (<i>warehouse layout</i>) terhadap produktivitas operasional.	Peneliti menggunakan metode Statistik Korelasional untuk melihat hubungan variabel, sedangkan penulis menggunakan Simulasi (DES) untuk menguji dampak skenario perbaikan secara operasional.	Hasil uji statistik menunjukkan bahwa <i>slotting</i> gudang berpengaruh positif dan signifikan terhadap produktivitas kerja; perbaikan <i>layout</i> diperlukan untuk meningkatkan kapasitas ruang penyimpanan.	international Journal of Environmental, Sustainability, and Social Science (IJESSS), Nomor 1, Volume 4, p-ISSN 2720-9644; e-ISSN 2721-0871, PT Penerbit: Keberlanjutan Strategis Indonesia.	
47. (Mirzaei et al., 2021), Belanda.	Sama-sama menggunakan metode Simulasi untuk mengevaluasi kinerja strategi penyimpanan (<i>Storage Allocation</i>).	Peneliti fokus pada sistem gudang otomatis Parts-to-Picker (Robot), sedangkan penulis fokus pada sistem Manual Picking dengan mempertimbangkan faktor beban kognitif manusia.	Strategi penyimpanan berbasis klaster terbukti mengurangi waktu siklus robot dan meningkatkan <i>throughput</i> sistem dibandingkan kebijakan penyimpanan berbasis omset (<i>turnover</i>) standar.	Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, Nomor -, Volume 146, ISSN	

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
					1366-5545, Penerbit: Elsevier Ltd.
48. (Rouwenho rst et al., 1999), Belanda.	Membahas desain dan pengendalian sistem pergudangan (<i>Warehouse Design and Control</i>).	Peneliti menyusun Kerangka Kerja Konseptual (<i>Framework</i>) dan tinjauan <i>literatur</i> , sedangkan penulis melakukan Studi Empiris perancangan <i>layout</i> yang diuji dengan simulasi.	Mengidentifikasi bahwa <i>literatur</i> terdahulu terlalu fokus pada analisis sub-masalah terisolasi; kerangka kerja ini menghubungkan berbagai keputusan desain agar terintegrasi.	European Journal of Operational <i>Research</i> , Nomor 3, <i>Volume</i> 122, ISSN 0377-2217, Penerbit: Elsevier.	
49. (Krishna & Tulli, 2023),	Mengkaji teknik optimasi <i>slotting</i> gudang untuk efisiensi pemenuhan pesanan (<i>Order Fulfillment</i>).	Peneliti menggunakan Mixed-Method (Kuantitatif & Tinjauan Praktik), sedangkan penulis fokus spesifik pada pengembangan desain <i>Class-Based Storage</i> yang divalidasi melalui Simulasi (DES).	Temuan menunjukkan <i>slotting</i> s and <i>optimization</i> dapat mengurangi waktu perjalanan hingga 30%, dan strategi <i>zoning</i> meningkatkan kecepatan pengambilan pesanan hingga 40%.	Mathematic s and Computer Science Journal, Nomor January 2023, <i>Volume</i> 2023, ISSN 2456-1053, Penerbit: Everant Publisher Pvt Ltd.	
50. (Duque- Jaramillo et	Mengembangkan model alokasi	Peneliti menggunakan model	Model ini berhasil menyeimbangkan	Journal of Industrial	

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	al., 2024), Colombia.	ruang penyimpanan (<i>Slotting</i>) untuk optimalisasi manajemen gudang.	Pemrograman Linear Integer (ILP) untuk optimasi matematis pasti, sedangkan penulis menggunakan pendekatan Simulasi Skenario (DES) untuk evaluasi dinamis.	prioritas pesanan dan karakteristik fisik produk, menghasilkan pengurangan waktu operasi total yang signifikan dalam validasi numerik.	Engineerin g and Manageme nt, Nomor 1, <i>Volume</i> 17, Online ISSN 2013- 0953; Print ISSN 2013- 8423, Penerbit: OmniaScie nce.
51.	(G. Kovács & Kot, 2017), Hungaria.	Sama-sama meneliti perancangan ulang <i>slotting</i> fasilitas (<i>redesign layout</i>) dengan tujuan meminimalkan jarak aliran material (<i>material flow</i> <i>distance</i>) dan meningkatkan efisiensi operasional.	Objek penelitian ini bersifat umum pada manajemen fasilitas manufaktur dan logistik dengan fokus utama reduksi biaya (<i>cost reduction</i>), sedangkan penelitian ini spesifik pada <i>order picking</i> gudang dengan fokus pada variabel beban kognitif pekerja.	Menemukan bahwa fluktuasi permintaan pelanggan adalah alasan fundamental untuk melakukan <i>redesign</i> . Perbaikan <i>slotting</i> terbukti signifikan meminimalkan jarak tempuh dan biaya logistik.	Journal of Applied Mathematic s and Computatio nal Mechanics Nomor/Vol : Vol. 16, No. 1. ISSN: p- ISSN 2299- 9965, e- ISSN 2353- 0588. Penerbit: Czestoch wa University

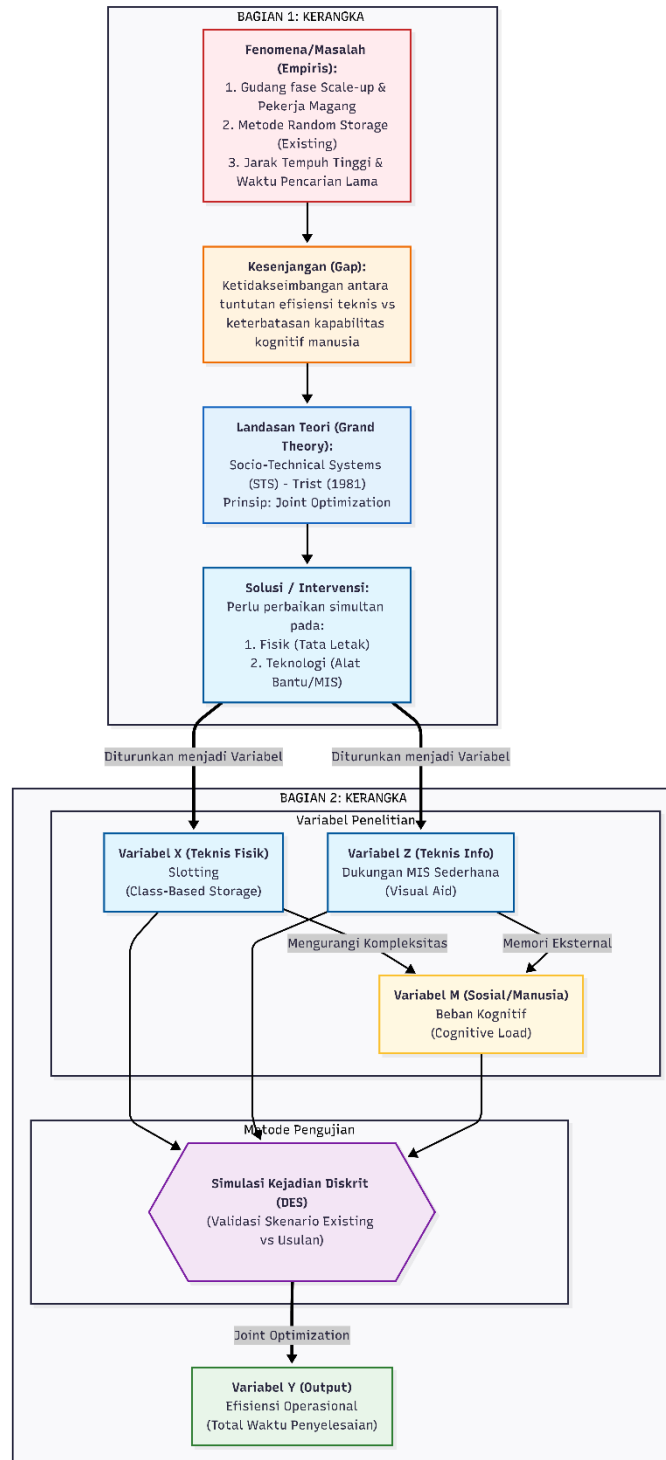
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
					of Technology
52. (Isnaini et al., 2025), Indonesia.	Membahas pendekatan perencanaan <i>slotting</i> dinamis (<i>dynamic planning</i>) dan pentingnya <i>slotting</i> yang <i>robust</i> (tangguh).	Isnaini menggunakan <i>Systematic Literature Review</i> (SLR/Kajian Pustaka), sedangkan penelitian ini adalah eksperimen simulasi berbasis DES. Isnaini merekomendasikan penambahan faktor ergonomi (sebagai saran), sedangkan skripsi ini menerapkan faktor ergonomi tersebut.	Menyimpulkan pergeseran tren riset ke arah <i>slotting</i> dinamis karena aliran material riil tidak konstan. Merekomendasikan integrasi faktor ergonomi dan energi dalam model <i>slotting</i> masa depan.	Production Engineering Archives Vol. 31, No. 1, Hal. 27-40. ISSN: 2353-5156 Penerbit: Sciendo / Quality Production Improvement Association	
53. (Roca-Limache et al., 2025), Peru.	Sama-sama bertujuan meningkatkan produktivitas dan efisiensi operasional melalui perbaikan metode kerja dan <i>slotting</i> fasilitas.	Roca-Limache menggabungkan <i>Systematic Layout Planning</i> (SLP) dengan budaya 5S, sedangkan penulis menggunakan metode <i>Class-Based Storage</i> (COI) dengan bantuan Sistem Informasi (MIS).	Implementasi model <i>Lean Production</i> dan <i>slotting</i> baru berhasil meningkatkan produktivitas tenaga kerja sebesar 54,39% dan mengurangi jarak perpindahan material sebesar 17,73%.	International Journal of Recent Engineering Science Vol. 12, Issue 1, Hal. 33-42. ISSN: 2349-7157. DOI: 10.14445/2	

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
					3497157.
					Penerbit:
					<i>Seventh</i>
					<i>Sense</i>
					<i>Research</i>
					Group

Sumber: Dikembangkan untuk Penelitian (2026)

Berdasarkan kajian empiris, terlihat benang merah bahwa penelitian pergudangan mutakhir tidak lagi hanya menekankan optimasi teknis, tetapi semakin mengarah pada integrasi *human factors*, baik dalam dimensi psikologis maupun fisik. Tren ini ditegaskan oleh (Boysen & de Koster, 2025) melalui seruan *behavioral warehouse research*, serta oleh (Isnaini et al., 2025) yang merekomendasikan integrasi faktor ergonomi dalam perencanaan *slotting* masa depan.

2.2 Kerangka Pemikiran



Sumber: Dikembangkan untuk Penelitian (2026)

Gambar 2. 1 Kerangka pemikiran

Penelitian ini difungsikan di atas landasan *Grand theory Socio-Technical Systems* (STS) yang diperkenalkan oleh Trist (1981). Dalam perspektif ini, sistem operasional gudang dipandang bukan sekadar entitas teknis, melainkan gabungan interdependen antara subsistem teknis (*technical subsystem*) dan subsistem sosial (*social subsystem*) (Trist, 1981, p. 24).

Mengacu pada (Trist, 1981, p. 9), perancangan sistem kerja yang unggul menuntut pencarian 'kesesuaian terbaik' (*best match*) antara kebutuhan teknis dan sosial, bukan dominasi salah satu aspek saja. Prinsip ini, yang dikenal sebagai optimasi bersama (*joint optimization*), menegaskan bahwa efisiensi operasional (Y) tidak akan maksimal jika hanya berfokus pada kecanggihan *Slotting* (X) dan teknologi MIS (Z) sebagai subsistem teknis, namun mengabaikan keterbatasan kapasitas pemrosesan informasi manusia pada subsistem sosial. Oleh karena itu, penelitian ini menempatkan Beban Kognitif (M) sebagai indikator krusial subsistem sosial untuk memastikan bahwa tuntutan teknis tidak melampaui kapabilitas manusia, sehingga *joint optimization* dapat tercapai.

Manajemen Operasional yang menekankan pentingnya transformasi *input* sumber daya menjadi *Output* barang dan jasa secara efisien (Heizer et al., 2017, p. 4). Dalam konteks rantai pasok modern, gudang tidak lagi berfungsi sekadar sebagai tempat penyimpanan, melainkan sebagai "pabrik pemenuhan" (*fulfillment factory*) yang harus menjaga kelancaran aliran barang di tengah fluktuasi permintaan dan tenaga kerja (Boysen & de Koster, 2025). Berdasarkan teori tersebut, penelitian ini memandang bahwa tantangan utama dalam operasional

gudang saat ini adalah menyeimbangkan efisiensi dengan keterbatasan kapabilitas manusia, terutama pada fase peningkatan skala usaha (*scale-up*).

Secara empiris, metode penyimpanan acak (*Random Storage*) yang diterapkan saat ini memiliki kelemahan fundamental berupa tingginya jarak tempuh pemindahan barang. Masalah fisik ini diperburuk oleh faktor perilaku manusia (*behavioral factors*). Studi terdahulu membuktikan bahwa perubahan *slotting* menjadi *Class-Based Storage* (menggunakan Analisis ABC) secara teoretis dapat mereduksi jarak tempuh operasional secara signifikan (Imansuri et al., 2023). Upaya reduksi ini relevan dengan prinsip "*the absolute elimination of waste*" dari Taiichi Ohno (Law, 2015, p. 3), yang menuntut penghapusan mutlak segala bentuk pemborosan dalam sistem. Oleh karena itu, penulis berpendapat bahwa intervensi pertama yang harus dilakukan adalah perbaikan desain fisik *slotting* (Variabel X) untuk meminimalkan jarak tempuh dasar sebelum menangani masalah lainnya.

Namun, optimalisasi fisik saja tidak cukup jika dijalankan oleh tenaga kerja baru dan tidak berpengalaman (magang) yang tidak memiliki pengetahuan diam (*tacit knowledge*) atau hafalan lokasi. Pekerja baru (*novice*) terbukti mengalami beban kognitif (*cognitive load*) yang tinggi saat menavigasi gudang yang kompleks, yang berdampak langsung pada lamanya waktu pencarian (*searching time*) dan tingginya potensi kesalahan pengambilan. Aktivitas pencarian *item* dan verifikasi lokasi dalam *order picking* merupakan aktivitas yang membutuhkan usaha kognitif, karena itu peningkatan waktu pencarian/*pick time* dapat dipandang sebagai indikasi meningkatnya tuntutan kognitif dalam tugas *visual Search* (Loske et al., 2025). Mengacu pada fenomena ini, penelitian ini menempatkan Beban Kognitif sebagai

variabel mediasi (variabel M). Penulis menyimpulkan bahwa sebegus apa pun desain fisik gudang, efisiensi tidak akan tercapai jika pekerjaanya masih mengalami kebingungan orientasi lokasi.

Untuk mengatasi kesenjangan kompetensi dan beban kognitif tersebut, diperlukan intervensi teknologi. Sistem Informasi Manajemen (MIS) berfungsi vital sebagai penyimpan pengetahuan (*knowledge repository*) yang mengubah informasi hafalan menjadi panduan eksplisit bagi pekerja (Jermsttiparsert et al., 2019; Kellermayr-Scheucher et al., 2023). Dalam konteks penelitian ini, Dukungan MIS Sederhana ditempatkan sebagai variabel moderasi (variabel Z). Penulis meyakini bahwa MIS berfungsi sebagai alat bantu *navigasi* yang secara langsung menurunkan waktu pencarian, sehingga hambatan kognitif pekerja magang dapat dieliminasi. Dalam kerangka penelitian ini, beban kognitif pekerja (M) dan dukungan MIS sederhana (Z) diposisikan sebagai dua variabel yang bekerja menjembatani pengaruh kebijakan penyimpanan dan *slotting* gudang terhadap efisiensi kinerja gudang.

Secara metodologis, interaksi kompleks antara *slotting*, perilaku pekerja magang yang tidak pasti, dan intervensi sistem ini paling tepat diuji menggunakan Simulasi Kejadian Diskrit (*Discrete Event Simulation*). Metode ini dinilai paling valid untuk membandingkan kinerja sistem saat ini (*baseline*), karena DES memiliki kriteria perkiraan waktu perjalanan dan jarak perjalanan saat mengambil barang, mengidentifikasi dan mengatasi hambatan dalam sistem, menganalisis rute, kebijakan penugasan penyimpanan, dan *slotting*, kinerja *throughput* sistem (Saini et al., 2025).

Berdasarkan uraian logika di atas, kerangka pemikiran penelitian ini disusun berdasarkan hubungan kausalitas antar variabel sebagai berikut:

1. Pengaruh Desain *Slotting* (X) terhadap Beban Kognitif (M) Secara teoretis, desain *slotting* yang terstruktur (Class-Based) memiliki kompleksitas *visual* yang lebih rendah dibandingkan *slotting* acak, sehingga diprediksi mampu menurunkan tingkat kesulitan pencarian barang (Imansuri et al., 2023; Loske et al., 2025). Oleh karena itu, penulis menduga bahwa perubahan *slotting* fisik adalah langkah awal yang wajib dilakukan untuk meringankan beban mental pekerja dalam mengenali lokasi barang.

2. Peran Dukungan MIS (Z) terhadap Beban Kognitif (M) Kehadiran sistem informasi *visual* berfungsi vital untuk mengonversi pengetahuan yang bersifat hafalan (*tacit*) menjadi informasi eksplisit, yang secara langsung berdampak pada pengurangan waktu pencarian (*searching time*) pekerja magang (Jermsittiparsert et al., 2019). Dalam hal ini, penelitian ini memosisikan MIS sebagai "memori eksternal" yang mengeliminasi kebutuhan kurva pembelajaran yang panjang, sehingga pekerja baru dapat langsung bekerja seefisien pekerja lama.

3. Pengaruh terhadap Efisiensi Operasional (Y) Kombinasi antara perbaikan jarak fisik (akibat *slotting* (X)) dan percepatan waktu pencarian (akibat Sistem Z) akan terjadi pada peningkatan Efisiensi Operasional gudang secara keseluruhan, baik dari sisi waktu, jarak, maupun akurasi (Jermsittiparsert et al., 2019; Saini et al., 2025). Berdasarkan sintesis ini, efisiensi operasional dalam penelitian ini didefinisikan sebagai hasil agregat dari intervensi fisik dan teknologi yang diuji melalui simulasi sistem.

2.3 Hipotesis

Berdasarkan perumusan masalah dan kerangka pemikiran yang telah dipaparkan, hipotesis dalam penelitian ini disusun sebagai jawaban sementara yang akan dibuktikan melalui simulasi. Mengingat penelitian ini bersifat komparatif (membandingkan kondisi *existing* dan usulan), maka hipotesis penelitian adalah sebagai berikut:

Berdasarkan prinsip *Joint optimization* dalam teori *Socio-Technical Systems* (Trist, 1981), diduga bahwa skenario usulan yang menggabungkan perbaikan fisik *slotting* (*Class-Based* + COI) dan intervensi teknologi (MIS) akan menghasilkan peningkatan efisiensi yang signifikan dibandingkan skenario aktual.

Hal ini terjadi karena perbaikan berjalan secara simultan: *slotting* baru memangkas jarak tempuh fisik (menghilangkan *waste of motion*), sementara dukungan MIS mengeliminasi waktu pencarian (*reduce cognitive demand*). Sinergi kedua subsistem ini diprediksi menghasilkan penurunan waktu siklus total (*Total Cycle Time*) secara drastis dibandingkan jika hanya salah satu aspek yang diperbaiki.