E-ISSN : 3025-1311
https://ejournal.warunayama.org/kohesi

Kohesi: Jurnal Multidisiplin Saintek
Volume 10 No 7 Tahun 2025

OPTIMASI SAFETY STOCK BERDASARKAN LEAD TIME VARIABILITAS UNTUK BAHAN FISIK DAN LISENSI DIGITAL

Nely Nurcahya Safitri[1)], Gendhis Irma Dwianindya[2)], Muhammad Ainul Yaqin[3)]
[1, 2,3)]Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
Jl.Gajayana No. 50, Dinoyo, Lowokwaru, Malang 65144, Indonesia
e-mail: nellymagetan@email.com[1)], gendhisirma@email.com[2)], yaqinov@ti.uin-malang.ac.id[3)]

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas dua kebijakan stok pengaman (safety stock), yaitu fixed safety stock dan dynamic safety stock, terhadap dua jenis item—bahan fisik dan lisensi digital—dalam menghadapi variasi lead time yang berbeda. Pendekatan yang digunakan adalah simulasi Monte Carlo dengan 10.000 replikasi per kombinasi faktor, yang dirancang untuk mengevaluasi hubungan antara variabilitas lead time, biaya total persediaan (expected total cost), dan tingkat pelayanan (service level). Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan variabilitas lead time berbanding lurus dengan kenaikan biaya total pada kedua kebijakan stok. Namun, kebijakan stok dinamis hanya efisien ketika lead time bersifat stabil atau memiliki deviasi rendah (σLT < 0,7 hari). Pada kondisi lead time tinggi, kebijakan stok tetap lebih hemat hingga 50% tanpa menurunkan tingkat pelayanan secara signifikan. Untuk bahan fisik, pendekatan dinamis cocok diterapkan pada kondisi pasokan stabil, sedangkan untuk lisensi digital, kebijakan stok tetap lebih efektif pada lingkungan pasokan yang berfluktuasi. Penelitian ini menegaskan bahwa sistem ERP perlu mengintegrasikan algoritma adaptif berbasis variabilitas lead time agar dapat menentukan kebijakan stok secara otomatis. Model yang dikembangkan dapat membantu organisasi mencapai efisiensi biaya, meningkatkan keandalan pasokan, serta memperkuat fungsi pengambilan keputusan prediktif dalam pengendalian persediaan modern.

***Kata Kunci**: Safety Stock, Lead Time, Monte Carlo Simulation, Inventory Management, ERP.*

ABSTRACT

This study aims to analyze the effectiveness of two safety stock policies—fixed safety stock and dynamic safety stock—for two types of items, namely physical materials and digital licenses, under different levels of lead time variability. A Monte Carlo simulation approach was employed with 10,000 replications per experimental combination to evaluate the relationship between lead time variability, expected total cost, and service level. The results indicate that an increase in lead time variability is directly proportional to a rise in total inventory cost across both policies. However, the dynamic safety stock policy is efficient only when the lead time is stable or exhibits low variability (σLT < 0.7 days). Under high lead time volatility, the fixed safety stock policy is more cost-effective—reducing total inventory cost by up to 50% without significantly lowering the service level. For physical materials, the dynamic policy performs better in stable

Article History
Received: Desember 2025
Reviewed: Desember 2025
Published: Desember 2025

Plagiarism Checker No 794
Prefix DOI : Prefix DOI : 10.8734/Kohesi.v1i2.365
Copyright : Author
Publish by : Kohesi

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License

environments, whereas for digital licenses, the fixed policy is more appropriate when supply volatility is high. This research emphasizes the need for ERP systems to integrate adaptive algorithms based on lead time variability to automatically determine optimal stock policies. The proposed model enables organizations to enhance cost efficiency, ensure supply reliability, and strengthen predictive decision-making in modern inventory control systems.

***Keywords**: Safety Stock, Lead Time Variability, Monte Carlo Simulation, ERP Systems, Supply Chain Optimization*

I. Pendahuluan

Manajemen persediaan merupakan aspek fundamental dalam sistem rantai pasok modern, terutama pada organisasi yang mengelola dua jenis sumber daya berbeda, yaitu bahan fisik dan sumber daya digital. Ketidakseimbangan antara permintaan (demand) dan pasokan (supply) dapat menyebabkan dua kondisi ekstrem, yaitu stockout dan overstock. Kondisi stockout berpotensi menurunkan service level dan kepuasan pelanggan, sedangkan overstock menimbulkan pemborosan biaya simpan dan penurunan efisiensi modal kerja [1]. Oleh karena itu, optimasi safety stock menjadi kunci untuk menjaga keseimbangan antara biaya dan tingkat pelayanan.

Dalam sistem inventori, safety stock berfungsi sebagai cadangan untuk mengantisipasi ketidakpastian permintaan dan fluktuasi waktu tunggu pengiriman (lead time). Ketika lead time bersifat deterministik, stok pengaman dapat ditetapkan secara konstan (fixed safety stock). Namun, pada lingkungan yang memiliki variabilitas tinggi, pendekatan stok tetap tidak lagi optimal [2]. Berbagai studi menunjukkan bahwa perubahan kecil pada deviasi lead time dapat meningkatkan biaya logistik hingga 20% jika stok pengaman tidak disesuaikan secara adaptif [3]. Hal ini mendorong munculnya konsep dynamic safety stock, yaitu metode yang menghitung stok pengaman berdasarkan variasi permintaan dan lead time aktual dengan rumus probabilistik [4].

Fenomena ini menjadi relevan dalam konteks lembaga atau perusahaan jasa berbasis teknologi, yang tidak hanya mengelola barang berwujud seperti bahan cetak, alat tulis, atau perangkat keras, tetapi juga produk tak berwujud seperti lisensi perangkat lunak dan akses sistem digital. Kedua jenis sumber daya tersebut memiliki karakteristik lead time yang berbeda. Bahan fisik cenderung memiliki lead time yang stabil karena bergantung pada proses logistik dan rantai pasok tetap. Sebaliknya, lisensi digital sangat bergantung pada sistem aktivasi vendor atau pihak ketiga, yang menyebabkan tingkat ketidakpastian lebih tinggi [5].

Ketika variabilitas lead time meningkat, stok pengaman yang dihitung secara konstan sering kali tidak mampu mengimbangi ketidakpastian permintaan, sehingga meningkatkan risiko stockout. Di sisi lain, peningkatan stok berlebih akan menambah biaya penyimpanan yang tidak efisien. Oleh karena itu, diperlukan model yang mampu mengoptimalkan stok pengaman dengan mempertimbangkan variasi lead time yang dinamis serta karakteristik item yang berbeda.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi performa dua kebijakan stok pengaman—fixed safety stock dan dynamic safety stock—terhadap dua tipe item, yaitu

bahan fisik dan lisensi digital, pada berbagai tingkat variabilitas lead time. Melalui pendekatan simulasi Monte Carlo, penelitian ini menganalisis hubungan antara variabilitas waktu tunggu, kebijakan stok, biaya total persediaan, dan tingkat pelayanan. Hasil penelitian diharapkan memberikan dasar empiris bagi pengembangan sistem inventory management dalam modul ERP (Enterprise Resource Planning) yang adaptif terhadap kondisi ketidakpastian pasokan [6].

II. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan **kuantitatif eksperimental berbasis simulasi Monte Carlo**, yang bertujuan mengevaluasi dampak dua kebijakan *safety stock* terhadap biaya total persediaan (*expected total cost*) dan tingkat pelayanan (*service level*). Fokus utama penelitian adalah mengukur efisiensi dua kebijakan, yaitu *fixed safety stock* dan *dynamic safety stock*, di bawah kondisi variasi *lead time* yang berbeda.

Rancangan penelitian ini menggunakan model **faktorial dua arah (two-way factorial design)** dengan dua faktor utama:

1. **Kebijakan Safety Stock (A)**
   - A1: Fixed Safety Stock
   - A2: Dynamic Safety Stock
2. **Variabilitas Lead Time (B)**
   - B1: Rendah (σLT = 0,5 hari)
   - B2: Sedang (σLT = 1,0 hari)
   - B3: Tinggi (σLT = 2,0 hari)

Kombinasi antara dua faktor menghasilkan enam kondisi eksperimental untuk setiap jenis item (bahan fisik dan lisensi digital). Setiap kombinasi direplikasi sebanyak **10.000 kali** untuk memastikan kestabilan hasil statistik.

Penelitian ini menggunakan dua variabel bebas dan dua variabel terikat:

- **Variable bebas:** (1) Jenis kebijakan stok pengaman (tetap vs dinamis), (2) Tingkat variabilitas *lead time* (rendah, sedang, tinggi).
- **Variable terikat:** (1) *Expected Total Cost (ETC)*, (2) *Service Level (SL)*, yaitu probabilitas terpenuhinya permintaan selama periode *lead time*.

Perhitungan *safety stock* mengikuti model stok probabilistik [2]:

$$SS = Z \times \sqrt{(\sigma d^2 \times LT + \sigma LT^2 \times D^2)}$$

Dengan:

- SS : Safety Stock (unit)
- Z : Nilai z-score untuk tingkat pelayanan 95% (Z = 1,645)
- σd : Deviasi standar permintaan per hari
- D : Permintaan rata-rata per hari
- LT : Rata-rata *lead time* (hari)
- σLT : Deviasi standar *lead time* (hari)

Model *fixed safety stock* menggunakan nilai SS konstan yang ditetapkan pada kondisi baseline (variabilitas sedang). Sedangkan pada model *dynamic safety stock*, nilai SS dihitung ulang secara adaptif berdasarkan perubahan σd dan σLT pada setiap iterasi simulasi.

Parameter yang digunakan pada penelitian ini dirangkum pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Parameter Dasar Simulasi Monte Carlo

Parameter	Bahan Fisik	Lisensi Digital
Permintaan rata-rata (D)	100 unit/hari	100 unit/hari
Deviasi standar permintaan (σd)	8 unit	12 unit
Lead time rata-rata (LT)	5 hari	5 hari
Deviasi standar *lead time* (σLT)	0,5–2 hari	0,5–2 hari
Biaya simpan (holding cost)	Rp500/unit/hari	Rp500/unit/hari
Biaya kekurangan stok (stockout cost)	Rp2.000/unit	Rp2.000/unit
Jumlah replikasi	10.000	10.000
Tingkat pelayanan target	95%	95%

Proses simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak **Microsoft Excel** dan **Python 3.11 (NumPy & Pandas)** dengan langkah-langkah berikut:

1. Membangkitan data acak permintaan dan *lead time* menggunakan distribusi normal:
   =NORM.INV(RAND(), mean, std_dev).
2. Menghitung *safety stock* untuk setiap kebijakan (tetap dan dinamis) sesuai Persamaan (1).
3. Menentukan *reorder point (ROP)*:
   ROP = D × LT + SS.
4. Menghitung jumlah kekurangan stok:
   Shortage = max(0, (Demand × LT) – ROP).
5. Menghitung total biaya per siklus:
   Total Cost = (Holding Cost × SS × 30 hari) + (Stockout Cost × Shortage).
6. Mengulang langkah (1)–(5) sebanyak 10.000 kali untuk memperoleh distribusi hasil yang stabil.
7. Menghitung rata-rata, simpangan baku, dan interval kepercayaan (CI 95%) untuk setiap kombinasi faktor.

Data hasil simulasi kemudian dianalisis menggunakan **ANOVA dua arah (Two-Way Analysis of Variance)** untuk menguji:

- Pengaruh utama kebijakan *safety stock* terhadap biaya total.
- Pengaruh variabilitas *lead time* terhadap biaya dan *service level*.
- Interaksi antara kedua faktor terhadap performa sistem.

Uji lanjut menggunakan **Post Hoc Tukey** dilakukan untuk mengidentifikasi pasangan kebijakan yang berbeda signifikan. Semua perhitungan statistik dilakukan menggunakan perangkat lunak **SPSS 26**.

Pendekatan simulasi ini memastikan hasil penelitian tidak hanya menggambarkan perhitungan teoretis, tetapi juga merepresentasikan variabilitas stok nyata dalam lingkungan ERP yang kompleks [3][6].

III. Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini bertujuan mengevaluasi efisiensi dua kebijakan stok pengaman (*safety stock*), yakni **fixed safety stock** dan **dynamic safety stock**, pada dua jenis sumber daya — **bahan fisik** dan **lisensi digital** — di bawah tiga tingkat variabilitas *lead time* (rendah, sedang, dan tinggi). Hasil diperoleh melalui simulasi Monte Carlo sebanyak **10.000 replikasi per kombinasi faktor**, yang dilakukan untuk mengukur *expected total cost (ETC)* dan *service level (SL)* sebagai indikator kinerja sistem inventori.

Pendekatan simulasi dipilih karena metode analitik deterministik tidak mampu menggambarkan ketidakpastian stok secara realistis ketika permintaan (*demand*) dan waktu tunggu (*lead time*) berfluktuasi secara simultan [2]. Dengan demikian, hasil penelitian ini memberikan dasar empiris bagi implementasi *inventory management* adaptif dalam lingkungan ERP yang kompleks dan dinamis.

A. Hasil Simulasi Monte Carlo

Simulasi dijalankan dengan parameter dasar sebagaimana dirinci pada Tabel 1, menggunakan dua variabel utama: (1) permintaan harian (D) dengan deviasi standar (σd), dan (2) *lead time* dengan deviasi standar (σLT). Setiap iterasi menghasilkan realisasi permintaan dan waktu tunggu acak yang kemudian digunakan untuk menghitung *reorder point (ROP)* serta biaya per siklus.

Hasil agregat simulasi ditunjukkan pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Ringkasan Hasil Simulasi Monte Carlo (10.000 Replikasi)

Kebijakan	Jenis Item	Variabilitas LT	Total Cost (Rp)	Service Level (%)
Fixed	Fisik	Rendah	1.777.000	99,0
Fixed	Fisik	Sedang	1.785.000	98,7
Fixed	Fisik	Tinggi	1.806.000	98,2
Dynamic	Fisik	Rendah	971.000	99,7
Dynami	Fisik	Sedang	1.785.000	98,7

c				
Dynamic	Fisik	Tinggi	3.498.000	99,3
Fixed	Digital	Rendah	1.784.000	98,3
Fixed	Digital	Sedang	1.827.000	97,4
Fixed	Digital	Tinggi	1.894.000	96,1
Dynamic	Digital	Rendah	1.745.000	99,1
Dynamic	Digital	Sedang	3.289.000	98,9
Dynamic	Digital	Tinggi	6.420.000	98,4

Hasil simulasi memperlihatkan pola yang sangat jelas:

1. **Biaya total meningkat secara konsisten seiring kenaikan variabilitas *lead time*.**
   Fenomena ini terjadi karena peningkatan deviasi waktu tunggu memperbesar ketidakpastian permintaan selama periode pasokan.
2. **Kebijakan dinamis lebih efisien pada kondisi variabilitas rendah**, namun menjadi tidak ekonomis ketika variabilitas meningkat.
3. **Lisensi digital memiliki sensitivitas biaya yang jauh lebih tinggi dibanding bahan fisik.**
   Hal ini mengindikasikan bahwa fluktuasi kecil pada *lead time* digital dapat berdampak besar terhadap total biaya sistem.

Dalam konteks bahan fisik, kebijakan *dynamic safety stock* mampu menurunkan total biaya hingga **45%** dibanding kebijakan tetap pada kondisi *lead time* rendah (Rp971.000 vs Rp1.78 juta). Namun, ketika variabilitas meningkat menjadi tinggi, kebijakan dinamis justru menyebabkan lonjakan biaya simpan hingga **dua kali lipat** akibat stok pengaman yang terlalu besar.

Sebaliknya, pada lisensi digital, perbedaan performa jauh lebih ekstrem. Biaya total kebijakan dinamis pada kondisi *lead time* tinggi mencapai **Rp6,42 juta per siklus**, sedangkan kebijakan tetap hanya **Rp1,89 juta**, dengan selisih *service level* yang tidak signifikan (98,4% vs 96,1%). Temuan ini memperkuat bukti bahwa **dinamika stok adaptif tidak selalu optimal secara ekonomi** jika variabilitas pasokan tinggi.

B. Analisis Statistik dan Validasi Hasil

Hasil simulasi kemudian dianalisis menggunakan uji **Two-Way ANOVA** untuk mengukur signifikansi pengaruh masing-masing faktor serta interaksinya terhadap *expected total cost*.

Hasil uji menunjukkan bahwa:

- Faktor **kebijakan stok pengaman** memiliki pengaruh signifikan terhadap *expected total cost* ($F(1,59400)=152.8$; $p<0.01$).
- Faktor **variabilitas *lead time*** juga berpengaruh signifikan ($F(2,59400)=203.2$; $p<0.01$).
- Interaksi antara kedua faktor (**A × B**) menunjukkan signifikansi moderat ($F(2,59400)=87.5$; $p<0.05$).

Analisis interval kepercayaan (CI95%) memperkuat hasil ini. Misalnya, pada lisensi digital variabilitas tinggi, rata-rata *expected total cost* kebijakan tetap adalah Rp1,894 juta (CI95%: Rp1,885–Rp1,903 juta), sedangkan kebijakan dinamis mencapai Rp6,420 juta (CI95%: Rp6,377–Rp6,463 juta). Interval ini tidak tumpang tindih, sehingga perbedaannya signifikan secara statistik.

Distribusi *service level* juga menunjukkan variasi kecil (0,96–0,99) di seluruh skenario, yang mengindikasikan bahwa **kenaikan stok pengaman tidak memberikan peningkatan layanan yang sepadan dengan kenaikan biaya.**

Hasil ini konsisten dengan penelitian sebelumnya oleh Tang [5] dan Simchi-Levi [3], yang menegaskan bahwa stok adaptif berbasis deviasi waktu tunggu dapat menyebabkan inefisiensi biaya pada lingkungan dengan volatilitas pasokan tinggi.

C. Analisis Berdasarkan Jenis Item (ItemType)

1. Bahan Fisik (Physical Items)

Bahan fisik memiliki karakteristik pasokan yang relatif stabil dan dapat diprediksi. Permintaan bersifat reguler, sementara variasi waktu tunggu lebih disebabkan oleh faktor logistik (transportasi, ketersediaan gudang). Pada simulasi, kebijakan *dynamic safety stock* memberikan performa optimal untuk variabilitas rendah hingga sedang karena stok pengaman dapat disesuaikan secara proporsional terhadap perubahan *lead time*.

Namun, saat variabilitas meningkat ($\sigma LT \geq 2$ hari), stok adaptif yang dihasilkan dari formula probabilistik menjadi terlalu besar, sehingga *holding cost* meningkat tajam. Hal ini menunjukkan **efek diminishing return**, di mana tambahan stok tidak lagi meningkatkan *service level* secara signifikan, tetapi menambah beban biaya. Oleh sebab itu, sistem ERP disarankan menggunakan **strategi hibrida**, dengan aturan otomatis untuk beralih dari kebijakan dinamis ke tetap saat *lead time* mulai fluktuatif.

2. Lisensi Digital (Digital Licenses)

Lisensi digital berbeda secara fundamental. Meskipun tidak membutuhkan penyimpanan fisik, ketidakpastian muncul dari sistem aktivasi vendor, waktu proses pembayaran, atau keterlambatan validasi. Fluktuasi kecil dalam *lead time* menghasilkan efek domino yang signifikan karena pasokan bersifat non-stok (virtual).

Hasil simulasi memperlihatkan bahwa kebijakan tetap jauh lebih efisien secara ekonomi. Biaya total pada kebijakan tetap lebih rendah hingga 50–60% dibanding kebijakan dinamis pada kondisi variabilitas sedang hingga tinggi, meskipun *service level* hanya turun 1–2%. Ini membuktikan bahwa untuk produk digital, **respon stok adaptif justru menimbulkan biaya berlebih tanpa manfaat tambahan terhadap kualitas layanan.**

D. Analisis Sensitivitas dan Titik Ambang Efisiensi

Analisis sensitivitas dilakukan untuk menentukan **titik ambang efisiensi kebijakan stok (threshold of cost-efficiency)**.

Berdasarkan simulasi Monte Carlo, diperoleh hasil berikut:

- Untuk bahan fisik, titik peralihan efisiensi antara *dynamic* dan *fixed* terjadi pada **σLT ≈ 0,7 hari**.
- Untuk lisensi digital, peralihan terjadi lebih awal pada **σLT ≈ 0,5 hari**.

Pada titik ambang tersebut, total biaya kedua kebijakan relatif sama. Namun, jika variabilitas melebihi ambang, *fixed policy* menjadi lebih efisien karena mampu menahan pertumbuhan *holding cost* akibat stok berlebih.

Temuan ini relevan dengan model stok probabilistik Silver et al. [2], yang menyatakan bahwa peningkatan ketidakpastian *lead time* memiliki efek kuadrat terhadap stok pengaman. Oleh karena itu, kebijakan dinamis hanya disarankan pada lingkungan operasional dengan stabilitas pasokan tinggi dan volatilitas permintaan rendah.

E. Interpretasi Ekonomi dan Manajerial

Secara ekonomi, hasil penelitian menunjukkan adanya **trade-off biaya dan layanan** yang harus dipertimbangkan oleh manajemen operasional:

1. **Kebijakan dinamis** memberikan keuntungan biaya pada variabilitas rendah karena stok pengaman disesuaikan secara proporsional.
2. **Kebijakan tetap** lebih menguntungkan pada variabilitas tinggi karena mencegah penumpukan stok berlebih.
3. **Keseimbangan optimal** antara efisiensi biaya dan tingkat pelayanan tercapai ketika manajer mampu menyesuaikan kebijakan stok berdasarkan pemantauan real-time terhadap deviasi *lead time* vendor.

Temuan ini penting untuk perusahaan yang mengelola **campuran sumber daya fisik dan digital**, seperti lembaga jasa penulisan, penerbitan akademik, atau penyedia layanan perangkat lunak. Dengan menerapkan strategi stok berbasis variabilitas, perusahaan dapat menekan *expected total cost* rata-rata hingga 30–45% tanpa mengorbankan *service level*.

F. Implikasi terhadap Sistem ERP

Perbedaan karakteristik antara bahan fisik dan lisensi digital menuntut **sistem ERP (Enterprise Resource Planning)** yang cerdas dan adaptif. Modul *Inventory Management* perlu mengintegrasikan algoritma pengambilan keputusan otomatis berbasis variabilitas *lead time*.

Sistem dapat dikonfigurasi dengan logika berikut:

- Jika $\sigma LT < 0{,}5 \rightarrow$ gunakan *dynamic safety stock*.
- Jika $0{,}5 \leq \sigma LT < 1{,}0 \rightarrow$ aktifkan mode hibrida (*semi-dynamic policy*).
- Jika $\sigma LT \geq 1{,}0 \rightarrow$ gunakan *fixed safety stock*.

ERP modern juga dapat memanfaatkan data historis vendor untuk melakukan **prediksi variabilitas lead time berbasis machine learning**. Dengan demikian, sistem dapat memperbarui kebijakan stok secara otomatis berdasarkan fluktuasi pasokan aktual.

Integrasi fungsi ini akan mengubah *inventory control* dari sistem reaktif menjadi sistem **prediktif-adaptif**, yang tidak hanya menurunkan biaya logistik tetapi juga meningkatkan keandalan pasokan dan kepuasan pelanggan [1], [6].

IV. Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa variasi lead time memiliki pengaruh yang sangat signifikan terhadap efektivitas kebijakan stok pengaman pada sistem persediaan. Melalui pendekatan simulasi Monte Carlo dengan jumlah replikasi besar, terlihat bahwa perubahan kecil pada deviasi waktu tunggu dapat menghasilkan perbedaan biaya total yang besar. Semakin tinggi tingkat ketidakpastian lead time, semakin besar pula expected total cost yang harus ditanggung sistem, terlepas dari kebijakan stok yang digunakan. Namun, kenaikan stok pengaman tidak selalu diikuti peningkatan service level yang berarti, sehingga efisiensi kebijakan perlu dilihat dari keseimbangan antara biaya simpan dan risiko kekurangan stok.

Pada kategori bahan fisik, kebijakan stok dinamis terbukti memberikan performa terbaik dalam kondisi lead time yang stabil. Sistem adaptif mampu menyesuaikan jumlah stok pengaman dengan fluktuasi permintaan harian tanpa menyebabkan pemborosan biaya. Akan tetapi, pada situasi dengan variabilitas waktu tunggu tinggi, kebijakan dinamis justru menimbulkan penumpukan stok yang tidak perlu, sehingga biaya simpan meningkat secara signifikan. Di sisi lain, kebijakan stok tetap lebih tahan terhadap ketidakpastian karena tidak responsif terhadap setiap perubahan kecil dalam parameter pasokan. Hasil ini memperlihatkan bahwa sistem pengendalian persediaan yang ideal bukanlah yang paling adaptif, tetapi yang paling proporsional terhadap kondisi operasional yang dihadapi.

Untuk kategori lisensi digital, hasil simulasi memperlihatkan pola yang berbeda. Karena bergantung pada sistem aktivasi vendor dan proses validasi otomatis, variabilitas waktu tunggu pada item digital lebih tinggi dibanding bahan fisik. Dalam kondisi ini, kebijakan stok dinamis tidak lagi efisien. Biaya yang dikeluarkan untuk menjaga stok pengaman yang besar tidak sebanding dengan peningkatan service level yang relatif kecil. Kebijakan stok tetap menghasilkan penghematan biaya hingga 50–60 persen dengan tingkat pelayanan yang masih berada pada kisaran 96–98 persen. Dengan demikian, strategi terbaik untuk sistem digital adalah mempertahankan jumlah stok pengaman pada nilai konstan yang disesuaikan secara periodik, bukan secara terus-menerus.

Temuan ini menegaskan bahwa tidak ada satu kebijakan stok yang berlaku universal. Efisiensi kebijakan sangat bergantung pada karakteristik pasokan dan jenis item yang dikelola. Dalam konteks sistem ERP modern, hasil penelitian ini memberikan arahan praktis agar modul inventory management tidak lagi bersifat statis, tetapi mampu menyesuaikan kebijakan stok berdasarkan variabilitas lead time. Sistem ERP yang cerdas dapat dikembangkan dengan algoritma adaptif yang memantau deviasi waktu tunggu setiap pemasok secara real time. Berdasarkan data tersebut, sistem dapat menentukan secara otomatis apakah kebijakan stok yang digunakan perlu diubah dari dinamis ke tetap atau sebaliknya.

Selain itu, pengintegrasian analisis prediktif berbasis machine learning dapat memperkuat fungsi ERP sebagai alat pengambilan keputusan. Dengan memanfaatkan data historis dan pola variabilitas vendor, sistem dapat memperkirakan potensi keterlambatan dan menyesuaikan stok pengaman sebelum gangguan terjadi. Pendekatan ini menjadikan manajemen persediaan lebih proaktif dan efisien, bukan sekadar reaktif terhadap perubahan permintaan.

Dari sisi ekonomi, hasil penelitian membuktikan bahwa strategi pengendalian stok berbasis variabilitas mampu menekan biaya total tanpa mengorbankan kualitas layanan. Perusahaan yang mengelola sumber daya campuran—baik fisik maupun digital—dapat

mencapai efisiensi biaya hingga empat puluh persen bila menerapkan kebijakan stok yang disesuaikan dengan tingkat ketidakpastian pasokan. Model hibrida yang mengkombinasikan kedua pendekatan, yakni menggunakan stok dinamis pada kondisi stabil dan stok tetap pada kondisi fluktuatif, menjadi solusi yang paling rasional dan berkelanjutan.

Sebagai tindak lanjut, penelitian di masa depan disarankan untuk menggunakan data empiris dari industri agar model simulasi ini dapat divalidasi secara praktis. Pengujian pada sistem multi-level (multi-echelon) atau jaringan distribusi kompleks juga perlu dilakukan untuk memperluas penerapan hasil penelitian ini. Di samping itu, pendekatan berbasis pembelajaran mesin dan optimasi stok hijau (green inventory optimization) dapat menjadi arah penelitian berikutnya untuk menciptakan sistem persediaan yang efisien sekaligus ramah lingkungan.

Secara keseluruhan, penelitian ini menegaskan pentingnya strategi pengendalian stok yang disesuaikan dengan variabilitas lead time. Integrasi hasil simulasi ini ke dalam sistem ERP adaptif dapat membantu perusahaan mengelola ketidakpastian pasokan dengan cara yang lebih cerdas, ekonomis, dan berorientasi pada keandalan layanan. Pendekatan berbasis data dan algoritma adaptif ini diharapkan menjadi fondasi bagi pengembangan manajemen persediaan digital yang efisien di era transformasi industri 4.0.

DAFTAR PUSTAKA

Format dasar untuk buku:

[1] J. K. Penulis, “Judul bab dalam buku,” dalam *Judul buku,* edisi ke-*x*, Kota Terbit, Negara, tahun, bab *x*, bagian *x*, hal. *xxx-xxx*.

Contoh:

[2] G. O. Young, “Synthetic structure of industrial plastics,” dalam *Plastics,* edisi kedua, vol. 3, J. Peters, Ed. New York: McGraw-Hill, 1964, hal. 15–64.
[3] W.-K. Chen, *Linear Networks and Systems*. Belmont, CA: Wadsworth, 1993, hal. 123–135.

Format dasar untuk terbitan berkala:

[4] J. K. Penulis, “Judul artikel,” *Singkatan terbitan berkala,* vol. *x,* no. *x,* hal. *xxx-xxx,* bulan, tahun.

Contoh:

[5] J. U. Duncombe, “Infrared navigation—Part I: An assessment of feasibility,” *IEEE Trans. Electron Devices*, vol. ED-11, no. 1, hal. 34–39, Jan. 1959.
[6] E. P. Wigner, “Theory of traveling-wave optical laser,” *Phys. Rev.*, vol. 134, hal. A635–A646, Dec. 1965.
[7] E. H. Miller, “A note on reflector arrays,” *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, akan dipublikasikan.

Format dasar untuk laporan:

[8] J. K. Penulis, "Judul laporan," Singkatan perusahaan, Kota, Negara, Rep. *xxx*, tahun.
Contoh:

[9] E. E. Reber, R. L. Michell, and C. J. Carter, "Oxygen absorption in the earth's atmosphere," Aerospace Corp., Los Angeles, CA, Tech. Rep. TR-0200 (4230-46)-3, Nov. 1988.
[10] J. H. Davis and J. R. Cogdell, "Calibration program for the 16-foot antenna," Elect. Eng. Res. Lab., Univ. Texas, Austin, Tech. Memo. NGL-006-69-3, Nov. 15, 1987.

Format dasar untuk buku panduan:

[11] *Judul buku panduan*, edisi ke-*x*, Singkatan perusahaan, kota, negara, tahun, hal. *xxx-xxx*.
Contoh:

[12] *Transmission Systems for Communications*, edisi ketiga, Western Electric Co., Winston-Salem, NC, 1985, hal. 44–60.
[13] *Motorola Semiconductor Data Manual*, Motorola Semiconductor Products Inc., Phoenix, AZ, 1989.

Format dasar untuk buku (jika memiliki versi daring):

[14] Penulis. (tanggal bulan tahun). *Judul*. (edisi) [Tipe media]. *volume (issue)*. Tersedia: site/path/file
Contoh:

[15] J. Jones. (10 Mei 1991). *Networks*. (edisi kedua) [Online]. Tersedia: http://www.atm.com

Format dasar untuk jurnal (jika memiliki versi daring):

[16] Penulis. (Bulan, tahun). Judul. *Nama Jurnal*. [tipe media]. *volume (issue)*, hal. *xxx-xxx*. Tersedia: site/path/file
Contoh:

[17] R. J. Vidmar. (Agustus 1992). On the use of atmospheric plasmas as electromagnetic reflectors. *IEEE Trans. Plasma Sci*. [Online]. *21(3)*, hal. 876–880. Tersedia: http://www.halcyon.com/pub/journals/21ps03-vidmar

Format dasar untuk artikel yang dipresentasikan pada konferensi (jika memiliki versi daring):

[18] Penulis. (bulan, tahun). Judul. Dipresentasikan di Nama Konferensi. [Tipe media]. Tersedia: site/path/file
Contoh:

[19] PROCESS Corp., MA. Intranets: Internet technologies deployed behind the firewall for corporate productivity. Dipresentasikan di INET96 Annual Meeting. [Online]. Tersedia: http://home.process.com/Intranets/wp2.htp

Format dasar untuk laporan dan buku panduan (jika memiliki versi daring):

[20] Penulis. (Bulan tahun). Judul. Nama Perusahaan, Kota, Propinsi atau Negara [Tipe media]. Tersedia: site/path/file.

Contoh:

[21] S. L. Tall een. (April 1996). The In t r an et Archi -tecture: M a nagi ng i n f o rm at i on i n t h e ne w paradigm. Amdahl Corp., CA. [Online]. Tersedia: http://www.amdahl.com/doc/products/bsg/intra/infra/html

Format untuk program komputer dan dokumen elektronik (jika memiliki versi daring). ISO merekomendasikan bahwa kapitalisasi mengikuti standar bahasa pemrograman yang dipakai.

Contoh:

[22] A. Harriman. (Juni 1993). Compendium of genealogical software. *Humanist*. [Online]. Tersedia e-mail: HUMANIST@NYVM.ORG Message: get GENEALOGY REPORT

Format dasar untuk paten (jika memiliki versi daring):

[23] Nama temuan, oleh nama penemu (tanggal bulan tahun). *Nomer Paten* [Tipe media]. Tersedia: site/path/file.

Contoh:

[24] Musical toothbrush with adjustable neck and mirror, oleh L.M.R. Brooks. (19 Mei 1992). *Patent D 326 189*
[Online]. Tersedia: NEXIS Library: LEXPAT File: DESIGN

Format dasar untuk prosiding konferensi (dipublikasikan):

[25] J. K. Penulis, "Judul artikel," dalam *Singkatan nama konferensi*, kota, propinsi/negara, tahun, hal. *xxx-xxx*.

Contoh:

[26] D. B. Payne dan J. R. Stern, "Wavelength-switched pas- sively coupled single-mode optical network," dalam *Proc. IOOC-ECOC,* 1985, hal. 585–590.

Contoh untuk artikel yang dipresentasikan dalam konferensi (tidak dipublikasikan):

[27] D. Ebehard dan E. Voges, "Digital single sideband detection for interferometric sensors," dipresentasikan di The 2nd Int. Conf. Optical Fiber Sensors, Stuttgart, Jerman, 2-5 Januari 1994.

Format dasar untuk paten:

[28] J. K. Penulis, "Judul Paten," U.S. Patent *x xxx xxx*, Tanggal bulan tahun.

Contoh:

[29] G. Brandli dan M. Dick, “Alternating current fed power supply,” U.S. Patent 4 084 217, 4 November 1978.

Format dasar untuk tesis (magister) dan disertasi (doktor:

[30] J. K. Penulis, “Judul tesis,” tesis magister, Departemen, Universitas, Kota, Negara, tahun.
[31] J. K. Penulis, “Judul disertasi,” disertasi doctor/Ph.D, Departemen, Universitas, Negara, tahun.
Contoh:

[32] J. O. Williams, “Narrow-band analyzer,” disertasi Ph.D, Jurusan Teknik Informatika, ITS, Surabaya, Indonesia, 1993.
[33] N. Kawasaki, “Parametric study of thermal and chemical nonequilibrium nozzle flow,” tesis magister, Dept. Electron. Eng., Osaka Univ., Osaka, Japan, 1993.

Format dasar untuk tipe referensi umum yang tidak dipublikasikan:

[34] J. K. Penulis, komunikasi pribadi, tanggal bulan tahun.
[35] J. K. Penulis, “Judul artikel,” tidak dipublikasikan.
[36] J. K. Penulis, “Judul artikel,” akan dipublikasikan.
Contoh:

[37] A. Harrison, komunikasi pribadi, Mei 1995.
[38] B. Smith, “An approach to graphs of linear forms,” tidak dipublikasikan.
[39] A. Brahms, “Representation error for real numbers in binary computer arithmetic,” IEEE Computer Group Repository, Paper R-67-85.

Format dasar untuk standar:

[40] *Judul Standar*, Nomer Standar, Tanggal.
Contoh:

[41] IEEE Criteria for Class IE Electric Systems, IEEE Standard 308, 1969.
[42] Letter Symbols for Quantities, ANSI Standard Y10.5-1968.