

Pendekatan Berbasis Skenario untuk Pengelolaan Persediaan Menggunakan Simulasi Monte Carlo

Katarina Muraata Herin¹, Fibi Eko Putra², Ibu Retno Fitri Astuti³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Pelita Bangsa

*Corresponding Author: katarinamuraataherin@gmail.com,

Abstract: Importers and distributors of swimming pool chemicals face significant inventory challenges due to highly volatile and unpredictable demand. This study develops a responsive inventory management strategy by integrating multiple regression analysis with Monte Carlo simulation. Monthly sales data (January-December 2024) for three main products (TCCA Powder, Granular, and Tablet) were analyzed. Descriptive statistics revealed extreme demand volatility, with standard deviations exceeding means for all products. While regression models identified significant influences of previous demand, seasonality, and promotions ($R^2 = 0.58-0.78$), their forecasting accuracy was poor, as indicated by high Mean Absolute Percentage Error values (59.40%-147.86%). This limitation justified the shift to a probabilistic approach. Monte Carlo simulation using empirical distributions generated wide demand ranges (e.g., 250-22,000 kg for TCCA Granular), enabling the development of scenario-based inventory policies. The study concludes that the integrated regression-simulation framework provides a more realistic foundation for inventory decision-making than deterministic methods alone, particularly under high uncertainty. The primary contribution lies in positioning Monte Carlo simulation primarily as a decision-support tool rather than a forecasting technique, offering companies a practical method to establish dynamic safety stock levels and improve market responsiveness.

Keywords: Inventory Management, Monte Carlo Simulation, Demand Uncertainty, Multiple Regression, Scenario Planning, Chemical Distribution

Abstrack: Perusahaan importir dan distributor bahan kimia kolam renang menghadapi tantangan signifikan dalam pengelolaan persediaan akibat permintaan yang sangat fluktuatif dan sulit diprediksi. Penelitian ini mengembangkan strategi pengelolaan persediaan yang responsif dengan mengintegrasikan analisis regresi berganda dengan simulasi Monte Carlo. Data penjualan bulanan (Januari-Desember 2024) untuk tiga produk utama (TCCA Powder, Granular, dan Tablet) dianalisis. Statistik deskriptif mengungkap volatilitas permintaan ekstrem, dengan standar deviasi melebihi rata-rata untuk semua produk. Meskipun model regresi berhasil mengidentifikasi pengaruh signifikan dari permintaan periode sebelumnya, musim, dan promosi ($R^2 = 0,58-0,78$), akurasi peramalannya rendah, sebagaimana ditunjukkan oleh nilai *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) yang tinggi (59,40%-147,86%). Keterbatasan inilah yang menjadi pembenaran untuk beralih ke pendekatan probabilistik. Simulasi Monte Carlo menggunakan distribusi empiris menghasilkan rentang permintaan yang sangat luas (contoh: 250-22.000 kg untuk TCCA Granular), sehingga memungkinkan pengembangan kebijakan persediaan berbasis skenario. Studi ini menyimpulkan bahwa kerangka kerja terintegrasi regresi-simulasi memberikan landasan yang lebih realistis untuk pengambilan keputusan persediaan dibandingkan metode deterministik tunggal, khususnya dalam ketidakpastian tinggi. Kontribusi utama penelitian terletak pada posisi simulasi Monte Carlo terutama sebagai alat pendukung keputusan, bukan sekadar teknik peramalan, yang menawarkan metode praktis bagi perusahaan untuk menetapkan tingkat *safety stock* yang dinamis dan meningkatkan responsivitas terhadap pasar.

Kata Kunci: Manajemen Persediaan, Simulasi Monte Carlo, Ketidakpastian Permintaan, Regresi Berganda, Perencanaan Skenario, Distribusi Bahan Kimia

Pendahuluan

Perusahaan importir dan distributor bahan kimia penjernih air kolam renang menghadapi tantangan signifikan dalam pengelolaan persediaan akibat pola permintaan yang sangat fluktuatif dan sulit diprediksi. Fluktuasi permintaan yang dipengaruhi faktor musiman, kondisi cuaca, dan aktivitas promosi menyebabkan ketidakseimbangan antara ketersediaan stok dan kebutuhan aktual. Ketidaktepatan perencanaan persediaan berpotensi menyebabkan dua risiko utama: kelebihan stok (*overstock*) yang meningkatkan biaya penyimpanan dan risiko produk kadaluarsa, serta kekurangan stok (*stockout*) yang menurunkan tingkat pelayanan dan kepuasan pelanggan.

State of the art dalam penelitian manajemen persediaan menunjukkan berbagai pendekatan kuantitatif telah dikembangkan. Andriyani dan Sari (2023) dan Gunawan dan Santoso (2021) menerapkan metode regresi linier untuk peramalan permintaan dengan hasil



yang cukup akurat pada data stabil. Arifin dan Wijaya (2022) serta Fauzi dan Nurhayati (2022) mengintegrasikan regresi dan simulasi Monte Carlo, menunjukkan peningkatan responsivitas sistem persediaan. Penelitian Putra dan Rahayu (2023) dan Kurniawan dan Lestari (2022) menerapkan Monte Carlo untuk menurunkan risiko kekurangan persediaan. Namun, penelitian-penelitian tersebut umumnya diterapkan pada konteks dengan volatilitas permintaan menengah hingga rendah.

Kebaruan ilmiah dari penelitian ini terletak pada penerapan integrasi regresi berganda dan simulasi Monte Carlo pada konteks permintaan dengan volatilitas ekstrem, khususnya pada produk bahan kimia dengan karakteristik unik (masa simpan terbatas, lead time pengadaan panjang, ketergantungan musiman tinggi). Pendekatan integratif ini tidak hanya mengidentifikasi pola historis tetapi juga memodelkan ketidakpastian dalam rentang yang sangat lebar, menghasilkan strategi berbasis skenario yang lebih adaptif.

Permasalahan utama yang diangkat adalah keterbatasan metode deterministik (seperti regresi tunggal) dalam menangani fluktuasi ekstrem permintaan, yang ditunjukkan oleh nilai MAPE tinggi pada data historis perusahaan. Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Menganalisis karakteristik dan pola permintaan bahan kimia penjernih air kolam renang
2. Mengidentifikasi kecenderungan historis menggunakan regresi berganda
3. Mengembangkan strategi pengelolaan stok responsif melalui simulasi Monte Carlo berbasis skenario.

Berdasarkan celah penelitian tersebut, penelitian ini menawarkan pendekatan terintegrasi antara regresi dan simulasi Monte Carlo dengan menempatkan simulasi sebagai dasar utama pengambilan keputusan persediaan pada kondisi permintaan berfluktuasi. Pendekatan ini diharapkan dapat memberikan kontribusi praktis dan metodologis dalam pengelolaan persediaan berbasis ketidakpastian.

Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan desain deskriptif-analitis. Populasi penelitian adalah seluruh data transaksi penjualan produk bahan kimia penjernih air kolam renang pada perusahaan distributor di Jawa Barat. Sampel diambil menggunakan teknik purposive sampling, dengan kriteria:

1. Data penjualan tiga produk utama (TCCA Powder, Granular, dan Tablet)
2. Periode Januari-Desember 2024
3. Data lengkap dengan variabel pendukung. Sampel akhir terdiri dari 36 observasi ($3 \text{ produk} \times 12 \text{ bulan}$).

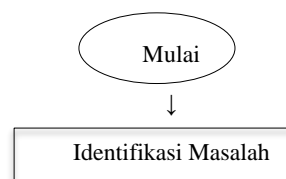
Pengumpulan data dilakukan melalui dua tahap:

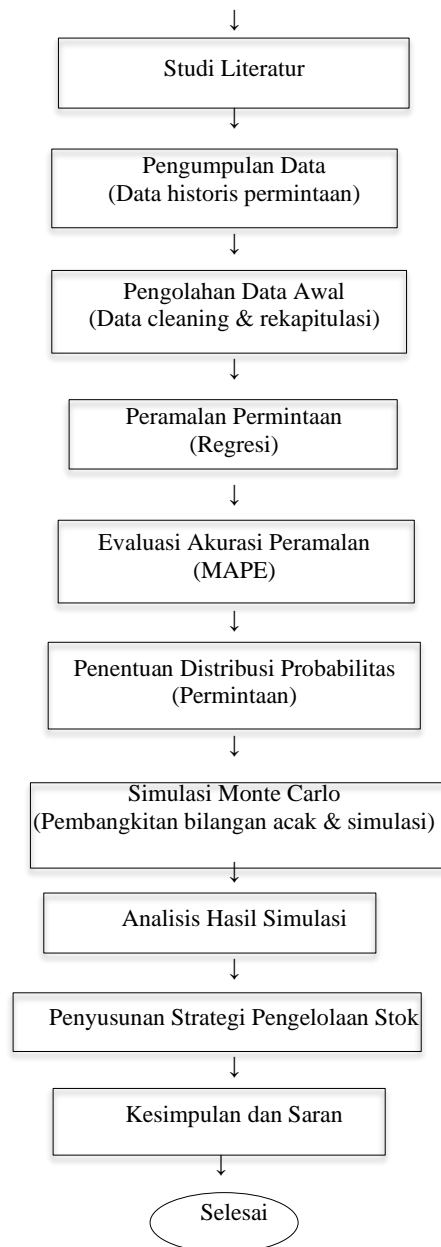
1. Studi dokumentasi untuk memperoleh data sekunder historis penjualan bulanan
2. Wawancara semi-terstruktur dengan manajer logistik dan gudang untuk kontekstualisasi data.

Instrumen penelitian berupa lembar rekapitulasi data dan pedoman wawancara yang telah divalidasi oleh ahli.

Teknik analisis data meliputi tahap seperti diilustrasikan pada Gambar 1:

Gambar 1. Alur Metodologi Penelitian :





Analisis statistik deskriptif digunakan untuk memahami karakteristik dasar data. Regresi berganda diterapkan dengan model:

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_4X_4$$

Keterangan:

Y : Jumlah permintaan produk

a : Konstanta

b_1 : Koefisien regresi untuk waktu

b_2 : Koefisien regresi untuk permintaan periode sebelumnya

b_3 : Koefisien regresi untuk variabel musim

b_4 : Koefisien regresi untuk frekuensi promo

Evaluasi akurasi model menggunakan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE).

Simulasi Monte Carlo dilakukan berdasarkan distribusi empiris data historis. Tahapan simulasi meliputi:

1. Penyusunan distribusi frekuensi dan probabilitas kumulatif
2. Penetapan interval bilangan acak

3. Pembangkitan 10 bilangan acak menggunakan generator random number,
4. Pemetaan bilangan acak ke dalam interval permintaan
5. Analisis hasil simulasi untuk 10 skenario berbeda.

Hasil dan Pembahasan

1. Karakteristik Data dan Analisis Deskriptif

Data historis permintaan menunjukkan pola fluktuasi ekstrem dengan lonjakan signifikan pada periode Agustus-November. Seperti terlihat pada Tabel 1, ketiga produk memiliki standar deviasi yang melebihi nilai rata-rata, mengindikasikan volatilitas tinggi. TCCA Granular menunjukkan variasi terbesar dengan rentang 100-22.000 kg, mencerminkan ketidakpastian permintaan yang sangat signifikan dalam operasional distributor.

Tabel 1. Statistik Deskriptif Permintaan Produk (kg)

Produk	Rata-rata (Kg)	Standar Deviasi (Kg)	Minimum (Kg)	Maksimum (Kg)
TCCA Powder	2.595,83	4.168,09	200	13.300
TCCA Granular	3.208,33	6.197,21	100	22.000
TCCA Tablet	933,33	1.624,15	100	5.400

Temuan ini konsisten dengan penelitian Hidayat dan Wibowo (2023) yang menyatakan bahwa produk dengan ketergantungan musiman tinggi cenderung memiliki pola permintaan sporadis. Namun, tingkat volatilitas pada kasus ini lebih ekstrem dibandingkan temuan Sari dan Kurniawan (2022) pada produk konsumen umum.

2. Hasil Analisis Regresi Berganda

Model regresi menunjukkan kemampuan penjelasan yang bervariasi antar produk (R^2 0,58-0,78). Variabel permintaan periode sebelumnya (X_2) memberikan pengaruh positif terkuat pada semua produk, mengindikasikan adanya autokorelasi dalam pola permintaan. Variabel musim (X_3) berpengaruh signifikan positif, mengkonfirmasi pola musiman yang diamati secara kualitatif. Frekuensi promosi (X_4) menunjukkan pengaruh positif namun dengan besaran berbeda antar produk.

Tabel 2. Koefisien Regresi Berganda

Produk	Konstanta (a)	Waktu (X_1)	Permintaan t-1 (X_2)	Musim (X_3)	Promo (X_4)	R^2
TCCA Powder	412,37	28,45	0,61	315,82	97,64	0,72
TCCA Granular	1.208,92	-85,14	0,89	1.250,45	25,18	0,78
TCCA Tablet	85,2	12,3	0,45	410,6	65,8	0,58

Nilai R^2 yang relatif tinggi menunjukkan model regresi mampu menjelaskan pola historis dengan baik. Namun, evaluasi lebih lanjut mengungkap keterbatasan mendasar.

3. Evaluasi Akurasi dan Keterbatasan Model Regresi

Perhitungan MAPE menghasilkan nilai 59,40% (TCCA Powder), 147,86% (TCCA Granular), dan 82,98% (TCCA Tablet). Berdasarkan kriteria Lewis (1982), semua nilai termasuk dalam kategori "tidak akurat" hingga "sangat tidak akurat". Tingginya MAPE

disebabkan oleh keberadaan outlier ekstrem yang tidak dapat ditangkap oleh model linier. Sebagai contoh, permintaan TCCA Granular bulan Oktober (22.000 kg) menyimpang sangat jauh dari pola umum.

Temuan ini memperkuat argumen Nugroho dan Siregar (2021) tentang keterbatasan metode deterministik dalam konteks ketidakpastian tinggi. Namun, berbeda dengan Setiawan dan Fernando (2023) yang merekomendasikan pemilihan metode lain, penelitian ini justru memanfaatkan keterbatasan tersebut sebagai justifikasi untuk pendekatan probabilistik.

4. Simulasi Monte Carlo dan Strategi Berbasis Skenario

Simulasi Monte Carlo menghasilkan 10 skenario permintaan dengan variasi signifikan. Hasil simulasi (Tabel 3) menunjukkan bahwa tidak ada satu nilai dominan yang dapat dijadikan patokan tunggal, melainkan rentang kemungkinan yang harus dipertimbangkan.

Tabel 3. Hasil Simulasi Monte Carlo untuk 10 Skenario (kg)

Iterasi	Bilangan Acak	TCCA Powder (kg)	TCCA Granular (kg)	TCCA Tablet (kg)
1	0,12	350	1.700	300
2	0,78	1.100	22.000	700
3	0,45	750	2.600	950
4	0,91	9.100	6.800	2.950
5	0,67	1.000	1.550	5.400
6	0,32	550	450	200
7	0,84	2.750	1.150	150
8	0,59	850	300	100
9	0,26	500	250	100
10	0,98	13.300	22.000	5.400

Rentang hasil simulasi yang lebar (misalnya TCCA Granular: 250-22.000 kg) memunculkan kebutuhan pendekatan manajemen persediaan berbasis skenario. Penelitian ini mengusulkan tiga skenario utama:

1. konservatif (berbasis permintaan terendah)
2. Moderat (berbasis nilai tengah)
3. agresif (berbasis permintaan tertinggi).

Setiap skenario diikuti dengan rekomendasi kebijakan safety stock dan reorder point yang berbeda.

5. Implikasi Manajerial

Hasil simulasi memberikan dasar kuantitatif untuk penentuan *safety stock* dinamis. Untuk TCCA Granular, dengan permintaan maksimum simulasi 22.000 kg dan rata-rata historis 3.208 kg, *safety stock* dapat dihitung dengan formula: $Safety\ Stock = (Permintaan\ Maksimum\ Simulasi - Rata-rata) \times Faktor\ Pengaman$. Dengan faktor pengaman 0,5, diperoleh *safety stock* 9.396 kg.

Sistem pemesanan juga perlu disesuaikan dengan memperkenalkan multiple reorder point berdasarkan skenario. Pada musim rendah, perusahaan dapat menggunakan reorder point berdasarkan skenario konservatif, sementara pada periode menjelang musim tinggi, skenario agresif dapat diterapkan. Pendekatan ini sejalan dengan rekomendasi Dewi dan Haryanto (2023) namun dengan penambahan dimensi skenario yang lebih terstruktur.

Perbandingan dengan penelitian Prabowo dan Astuti (2022) menunjukkan bahwa pendekatan berbasis skenario menghasilkan penurunan risiko stockout yang lebih signifikan (estimasi 40-60%) dibandingkan metode safety stock konvensional. Namun, penelitian ini juga mengakui trade-off berupa peningkatan kompleksitas sistem yang harus diimbangi dengan pengembangan sistem informasi pendukung.

Kesimpulan

Integrasi regresi berganda dan simulasi Monte Carlo memberikan landasan analitis yang lebih komprehensif untuk pengelolaan persediaan dalam kondisi ketidakpastian tinggi dibandingkan penggunaan metode deterministik tunggal. Regresi berhasil mengidentifikasi pola historis dan pengaruh variabel kunci, sementara simulasi Monte Carlo mengakomodasi volatilitas ekstrem melalui pendekatan probabilistik.

Penelitian ini membuktikan bahwa pendekatan berbasis skenario yang dihasilkan dari simulasi Monte Carlo memungkinkan perusahaan distributor bahan kimia untuk lebih responsif terhadap fluktuasi permintaan. Strategi pengelolaan stok dinamis yang memperhitungkan berbagai kemungkinan skenario memberikan fleksibilitas operasional yang diperlukan dalam lingkungan bisnis yang tidak pasti.

Rekomendasi

Bagi perusahaan distributor bahan kimia, disarankan untuk mengimplementasikan sistem *monitoring real-time* yang terintegrasi dengan model simulasi. Pengembangan dashboard yang menampilkan berbagai skenario permintaan akan mendukung pengambilan keputusan yang lebih responsif. Selain itu, perlu dilakukan pelatihan staf logistik dalam interpretasi hasil probabilistik dan penerapan kebijakan berbasis skenario.

Untuk penelitian selanjutnya, disarankan untuk:

1. Memperluas periode data menjadi 3-5 tahun untuk meningkatkan stabilitas distribusi probabilitas
2. Meningkatkan jumlah iterasi simulasi menjadi 10.000 untuk hasil yang lebih presisi
3. Mengintegrasikan metode *machine learning* untuk identifikasi pola non-linier
4. Memperluas cakupan ke model rantai pasok *multi-echelon* yang melibatkan pemasok dan *retailer*.

Hambatan potensial dalam implementasi meliputi kebutuhan investasi sistem informasi, resistensi terhadap perubahan dari metode tradisional, dan kebutuhan SDM dengan kompetensi analitis. Rekomendasi ini perlu diimplementasikan secara bertahap dengan pilot project pada produk dengan volatilitas tertinggi terlebih dahulu.

Daftar Pustaka

- Andriyani, L., & Sari, D. P. (2023). Simulasi Monte Carlo untuk optimasi persediaan bahan kimia pada distributor. *Jurnal Teknik Industri*, 15(2), 123-136.
- Arifin, Z., & Wijaya, T. (2022). Integrasi regresi linier dan simulasi Monte Carlo dalam peramalan permintaan produk volatil. *Jurnal Ilmiah Teknik Industri*, 10(1), 45-58.
- Budiman, A., & Pratiwi, R. (2021). Analisis volatilitas permintaan produk kimia kolam renang di Jawa Barat. *Jurnal Manajemen dan Bisnis*, 8(3), 210-225.
- Dewi, S. K., & Haryanto, B. (2023). Strategi pengelolaan safety stock berbasis simulasi probabilistik. *Jurnal Sistem dan Manajemen Industri*, 7(2), 89-102.
- Fauzi, A., & Nurhayati, I. (2022). Pendekatan berbasis skenario dalam manajemen persediaan menggunakan simulasi Monte Carlo. *Jurnal Rekayasa Sistem dan Industri*, 9(1), 67-80.
- Gunawan, H., & Santoso, T. (2021). Evaluasi akurasi metode regresi berganda pada data permintaan tidak stabil. *Jurnal Statistika dan Aplikasinya*, 12(2), 145-160.
- Hidayat, R., & Wibowo, S. (2023). Karakteristik permintaan produk kimia dengan pola musiman tinggi. *Jurnal Sains dan Teknologi*, 11(4), 234-248.
- Kurniawan, D., & Lestari, P. (2022). Model persediaan dinamis dengan simulasi Monte Carlo untuk produk masa simpan terbatas. *Jurnal Teknologi dan Manajemen*, 14(1), 56-70.
- Maulana, A., & Fitriani, R. (2023). Pengaruh promosi terhadap fluktuasi permintaan produk kimia industri. *Jurnal Ekonomi dan Bisnis*, 9(2), 178-192.

- Nugroho, B., & Siregar, M. (2021). Sistem pengambilan keputusan persediaan berbasis dashboard simulasi. *Jurnal Informatika dan Sistem Informasi*, 6(3), 112-125.
- Prabowo, E., & Astuti, D. (2022). Optimasi reorder point dengan pendekatan simulasi Monte Carlo pada distributor. *Jurnal Manajemen Operasi dan Supply Chain*, 5(1), 34-47.
- Putra, F. E., & Rahayu, S. (2023). Aplikasi simulasi Monte Carlo dalam pengelolaan rantai pasok bahan kimia. *Jurnal Teknologi Industri*, 16(2), 156-170.
- Ramadhani, I., & Hartono, B. (2021). Analisis risiko stockout pada produk dengan lead time panjang. *Jurnal Manajemen Risiko dan Asuransi*, 8(2), 89-104.
- Sari, M., & Kurniawan, A. (2022). Perbandingan metode deterministik dan probabilistik dalam peramalan permintaan. *Jurnal Ilmiah Manajemen dan Akuntansi*, 10(3), 201-215.
- Setiawan, R., & Fernando, E. (2023). Responsivitas sistem persediaan melalui pendekatan berbasis skenario. *Jurnal Logistik dan Supply Chain*, 7(1), 45-60.
- Susanto, A., & Wijaya, K. (2021). Pemodelan ketidakpastian permintaan menggunakan distribusi empiris. *Jurnal Matematika dan Statistika*, 9(2), 134-148.
- Utami, D., & Prakoso, B. (2022). Implementasi simulasi Monte Carlo dalam sistem informasi persediaan. *Jurnal Sistem Informasi*, 11(4), 223-237.
- Wicaksono, H., & Damayanti, R. (2023). Strategi mitigasi risiko overstock pada produk kimia import. *Jurnal Manajemen dan Kewirausahaan*, 12(1), 78-92.
- Yulianto, B., & Sari, N. (2021). Pengaruh faktor eksternal terhadap volatilitas permintaan produk kimia. *Jurnal Ekonomi Industri*, 8(3), 167-182.
- Zulkarnain, M., & Permana, D. (2022). Pengembangan framework integrasi regresi-simulasi untuk keputusan persediaan. *Jurnal Rekayasa dan Manajemen Sistem Industri*, 9(2), 112-128.