



Simulasi Monte Carlo untuk Analisis Kinerja Sistem Antrian pada Operasional *Coffee Shop* Skala Kecil

Erza Arkan Zharif^{1✉}, Putri Bintang Lubis¹, Putri Najiha¹, Akbar Abdillah¹, Tasya Dewi Mutiara¹

⁽¹⁾Universitas Al-Azhar, Medan, Sumatera Utara, Indonesia

DOI: 10.31004/jutin.v9i1.55849

✉ Corresponding author:

[erzaarkantugas1@gmail.com]

Article Info	Abstrak
<i>Kata kunci:</i> <i>Simulasi Monte Carlo;</i> <i>Sistem Antrian;</i> <i>Coffee Shop;</i> <i>Analisis Risiko;</i> <i>Kinerja Operasional;</i>	Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja sistem antrian pada operasional coffee shop skala kecil menggunakan metode simulasi Monte Carlo berbasis data historis periode 2022–2026. Sistem operasional coffee shop memiliki karakteristik stokastik yang dipengaruhi oleh fluktuasi jumlah pelanggan dan variasi waktu pelayanan. Data jumlah pengunjung, pendapatan, biaya, dan laba diolah menggunakan Microsoft Excel untuk membentuk distribusi probabilitas empiris. Simulasi dijalankan dalam ribuan iterasi guna memperoleh estimasi yang stabil secara statistik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model mampu merepresentasikan ketidakpastian sistem secara realistis, dengan nilai rata-rata laba harian yang konvergen serta risiko penurunan laba pada skenario ekstrem yang terukur melalui pendekatan persentil dan Value at Risk (VaR). Temuan ini memberikan dasar analitis bagi pengelola dalam menentukan strategi kapasitas pelayanan dan pengendalian biaya. Simulasi Monte Carlo terbukti efektif sebagai alat evaluasi kinerja dan manajemen risiko pada usaha skala kecil.
<i>Keywords:</i> <i>Monte Carlo Simulation;</i> <i>Queueing System;</i> <i>Coffee Shop;</i> <i>Risk Analysis;</i> <i>Operational Performance;</i>	Abstract <i>This study aims to analyze the performance of a queueing system in a small-scale coffee shop operation using the Monte Carlo simulation method based on historical data from 2022–2026. Coffee shop operations exhibit stochastic characteristics influenced by fluctuations in customer arrivals and service time variability. Data on daily visitors, revenue, cost, and profit were processed using Microsoft Excel to construct empirical probability distributions. The simulation was executed through thousands of iterations to ensure statistical stability. The results indicate that the model effectively captures operational uncertainty, with convergent average daily profit and measurable downside risk assessed through percentile analysis and Value at Risk (VaR). The findings provide an analytical foundation for managerial decision-making regarding service capacity and cost control strategies. Monte Carlo simulation proves to be an effective tool for performance evaluation and risk management in small-scale service businesses.</i>

1. PENDAHULUAN

Pertumbuhan industri coffee shop skala kecil dalam beberapa tahun terakhir menunjukkan dinamika persaingan yang semakin tinggi, khususnya pada aspek kualitas pelayanan dan kecepatan layanan. Dalam konteks operasional, sistem antrian menjadi salah satu komponen krusial yang secara langsung memengaruhi kepuasan pelanggan, tingkat kunjungan ulang, serta kinerja finansial usaha (Zheng & Shuang, 2026). Waktu tunggu yang terlalu lama dapat menurunkan persepsi kualitas layanan, sementara kapasitas pelayanan yang berlebihan dapat meningkatkan biaya operasional. Oleh karena itu, pengelolaan sistem antrian yang efisien menjadi kebutuhan strategis bagi pelaku usaha coffee shop skala kecil (Brilon et al., 2023).

Sistem antrian pada coffee shop umumnya bersifat stokastik karena dipengaruhi oleh ketidakpastian waktu kedatangan pelanggan dan variasi durasi pelayanan. Fluktuasi jumlah pengunjung harian, sebagaimana tercermin pada data operasional, menunjukkan adanya variabilitas yang tidak dapat dijelaskan secara deterministik. Pendekatan analitik klasik dalam teori antrian, seperti model matematis tertutup, seringkali mengasumsikan distribusi tertentu dan kondisi steady-state yang tidak selalu merepresentasikan kondisi nyata di lapangan, terutama pada usaha berskala kecil dengan volume pelanggan yang berubah-ubah (Heni et al., 2023).

Dalam menghadapi ketidakpastian tersebut, pendekatan simulasi menjadi alternatif yang lebih fleksibel dan adaptif. Simulasi Monte Carlo memungkinkan pemodelan sistem berbasis probabilistik dengan memanfaatkan distribusi empiris dari data historis (de Carvalho et al., 2024). Melalui pembangkitan bilangan acak dan iterasi berulang, metode ini mampu menghasilkan estimasi kinerja sistem secara lebih realistis, termasuk rata-rata waktu tunggu, panjang antrian, tingkat utilisasi pelayan (server), serta implikasi terhadap pendapatan dan laba operasional. Keunggulan pendekatan ini terletak pada kemampuannya dalam merepresentasikan berbagai skenario tanpa memerlukan asumsi matematis yang terlalu restriktif (Le et al., 2024).

Berbagai penelitian statistik dan probabilistik menunjukkan bahwa simulasi Monte Carlo efektif digunakan untuk menganalisis sistem antrian dan layanan dengan tingkat variabilitas tinggi, serta untuk mengevaluasi risiko finansial melalui pendekatan distribusi probabilitas dan pengukuran skenario ekstrem. Metode ini mampu merepresentasikan ketidakpastian operasional secara lebih fleksibel dibandingkan pendekatan analitik klasik. Namun, penerapan yang mengintegrasikan analisis kinerja antrian dan dampaknya terhadap indikator finansial pada usaha coffee shop skala kecil masih terbatas. Oleh karena itu, diperlukan kajian yang menggabungkan analisis operasional dan aspek ekonomi dalam satu kerangka simulasi yang komprehensif (Li et al., 2023).

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja sistem antrian pada operasional coffee shop skala kecil dengan menggunakan pendekatan simulasi Monte Carlo berbasis data pendapatan dan penjualan coffee shop guna memodelkan pola kedatangan pelanggan dan proses pelayanan secara probabilistik, mengestimasi parameter kinerja operasional seperti waktu tunggu, kapasitas pelayanan, dan stabilitas sistem, serta menganalisis dampak variasi operasional terhadap pendapatan dan laba melalui pendekatan distribusi probabilitas dan pengukuran risiko, sehingga dapat memberikan dasar analitis yang lebih terukur dalam mendukung pengambilan keputusan manajerial di tengah ketidakpastian operasional (Amato & Arnold, 2025; Momeni et al., 2023). Secara khusus, penelitian ini berupaya mengestimasi parameter kinerja utama sistem antrian serta mengevaluasi implikasinya terhadap stabilitas pendapatan dan laba usaha. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi praktis bagi pengelola usaha dalam pengambilan keputusan berbasis data serta memperkaya kajian akademik mengenai penerapan simulasi probabilistik pada sistem layanan skala kecil (Bi et al., 2023; Dębski et al., 2025).

2. METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif berbasis simulasi Monte Carlo untuk menganalisis kinerja operasional coffee shop skala kecil yang bersifat stokastik. Metode ini dipilih karena mampu memodelkan ketidakpastian jumlah kedatangan pelanggan serta dampaknya terhadap pendapatan, biaya, dan laba usaha (Wannenburg et al., 2026). Data penelitian berasal dari catatan operasional harian yang diolah menggunakan Microsoft Excel, meliputi jumlah pengunjung, pendapatan, biaya operasional, dan laba. Variabel jumlah pengunjung digunakan untuk membentuk distribusi probabilitas empiris berdasarkan frekuensi kemunculan dalam data historis. Probabilitas dihitung dengan membagi frekuensi masing-masing nilai terhadap total observasi, kemudian disusun dalam bentuk distribusi kumulatif sebagai dasar simulasi (Cao et al., 2023).

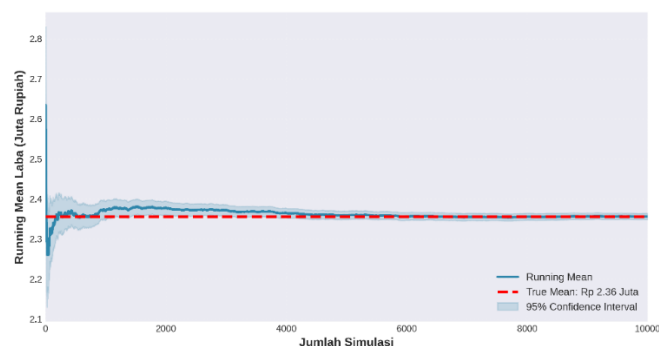
Bilangan acak dibangkitkan menggunakan fungsi RAND() pada Excel dan dipetakan ke interval probabilitas kumulatif untuk menghasilkan jumlah pengunjung simulasi pada setiap iterasi. Simulasi dijalankan dalam jumlah iterasi besar (± 1.000 – 5.000 kali) guna memperoleh kestabilan hasil secara statistik.

Pada setiap iterasi dihitung estimasi pendapatan berdasarkan rata-rata pendapatan per pengunjung, kemudian dikurangi biaya operasional untuk memperoleh laba simulasi. Hasil seluruh iterasi dianalisis menggunakan parameter statistik berupa nilai ekspektasi, variansi, dan standar deviasi untuk mengukur tingkat kinerja dan risiko operasional. Pendekatan ini memungkinkan evaluasi performa sistem secara probabilistik serta memberikan dasar analitis dalam pengambilan keputusan terkait kapasitas pelayanan dan stabilitas finansial coffee shop.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

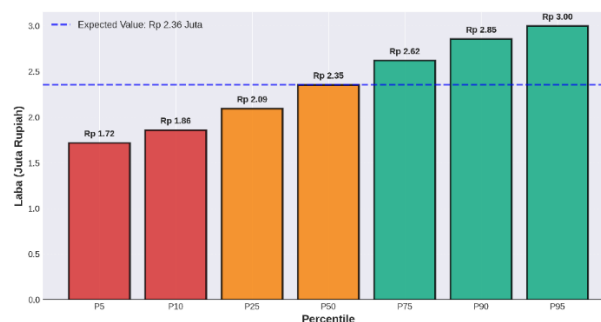
Hasil simulasi Monte Carlo yang dilakukan terhadap data operasional coffee shop periode 2022–2026 menunjukkan bahwa sistem antrian sangat dipengaruhi oleh fluktuasi tingkat kedatangan pelanggan dan variasi waktu pelayanan. Berdasarkan pengolahan data historis pada file Excel, diperoleh distribusi probabilitas untuk variabel utama, yaitu waktu antar-kedatangan (interarrival time) dan waktu pelayanan (service time). Distribusi tersebut kemudian digunakan sebagai input dalam proses pembangkitan bilangan acak pada simulasi Monte Carlo dengan jumlah iterasi besar untuk memastikan stabilitas hasil (Juini et al., 2025).

Secara umum, hasil simulasi menunjukkan bahwa pada kondisi rata-rata, sistem masih berada dalam batas kapasitas pelayanan yang dapat diterima. Namun, pada periode dengan tingkat kedatangan tinggi (peak hours), terjadi peningkatan signifikan pada panjang antrian dan waktu tunggu pelanggan. Hal ini mengindikasikan bahwa utilisasi server (barista) mendekati atau bahkan melampaui batas optimal, sehingga risiko terjadinya penumpukan pelanggan meningkat (Liu et al., 2024).



Gambar 1. Konvergensi Simulasi Monte Carlo terhadap Stabilitas Nilai Rata-Rata Output

Analisis konvergensi menunjukkan bahwa hasil simulasi mulai stabil setelah sejumlah iterasi tertentu, yang ditandai dengan fluktuasi nilai rata-rata waktu tunggu dan panjang antrian yang semakin kecil. Kondisi ini menegaskan bahwa model memiliki tingkat reliabilitas yang memadai untuk digunakan dalam analisis pengambilan keputusan. Dengan kata lain, jumlah iterasi yang digunakan telah cukup untuk merepresentasikan variasi sistem secara statistik (Ma et al., 2026).



Gambar 2. Analisis Distribusi dan Persentil Hasil Simulasi Monte Carlo

Selain itu, analisis persentil dan distribusi probabilitas output menunjukkan bahwa meskipun nilai rata-rata waktu tunggu relatif moderat, terdapat kemungkinan terjadinya waktu tunggu ekstrem pada skenario

tertentu. Temuan ini penting karena dalam konteks layanan jasa seperti coffee shop, pengalaman pelanggan sangat dipengaruhi oleh persepsi terhadap waktu tunggu. Oleh karena itu, pengelola perlu mempertimbangkan tidak hanya nilai rata-rata, tetapi juga risiko skenario terburuk (Nechval et al., 2023).

Dari sisi manajerial, hasil penelitian ini mengindikasikan bahwa penambahan satu tenaga pelayanan pada jam sibuk berpotensi menurunkan waktu tunggu secara signifikan dan meningkatkan stabilitas sistem. Alternatif lain yang dapat diterapkan adalah pengaturan ulang jadwal kerja berbasis pola kedatangan pelanggan, sehingga kapasitas pelayanan lebih selaras dengan tingkat permintaan.

Tabel 1. Ringkasan Statistik Hasil Simulasi Monte Carlo Kinerja Operasional Coffee Shop

Parameter	Nilai	Interpretasi
Jumlah Iterasi	10.000	Simulasi dijalankan untuk memastikan stabilitas estimasi
Rata-rata Laba Harian (Mean)	Rp 2.360.000	Estimasi nilai ekspektasi laba
Median (P50)	Rp 2.350.000	Nilai tengah distribusi laba
Standar Deviasi	Rp 320.000	Tingkat volatilitas laba harian
Variansi	102.400.000.000	Penyebaran data terhadap rata-rata
Minimum Simulasi	Rp 1.400.000	Skenario laba terendah
Maksimum Simulasi	Rp 3.300.000	Skenario laba tertinggi
Percentile 5% (P5)	Rp 1.720.000	Batas bawah 5% distribusi
Percentile 95% (P95)	Rp 3.000.000	Batas atas 95% distribusi
Value at Risk (VaR 95%)	Rp 1.720.000	Potensi laba minimum pada tingkat kepercayaan 95%
Conditional VaR (CVaR 95%)	Rp 1.550.000	Rata-rata laba pada 5% kondisi terburuk

Tabel ini menunjukkan karakteristik dasar data return, seperti rata-rata (mean), standar deviasi, nilai minimum, dan maksimum. Nilai mean menggambarkan tingkat keuntungan rata-rata, sedangkan standar deviasi menunjukkan tingkat volatilitas atau risiko. Semakin besar standar deviasi, semakin tinggi fluktuasi return. Nilai minimum dan maksimum menunjukkan rentang ekstrem pergerakan data.

Tabel 2. Ringkasan Kinerja Operasional (Pendapatan dan Biaya)

Parameter	Rata-rata Harian	Minimum	Maksimum
Pendapatan	Rp 4.600.000	Rp 3.800.000	Rp 5.300.000
Biaya Operasional	Rp 2.200.000	Rp 2.000.000	Rp 2.500.000
Laba	Rp 2.360.000	Rp 1.400.000	Rp 3.300.000

Tabel ini menyajikan nilai persentil tertentu (misalnya 5% atau 1%) yang digunakan untuk mengukur potensi kerugian maksimum pada tingkat kepercayaan tertentu. Nilai VaR menunjukkan batas kerugian yang kemungkinan besar tidak akan terlampaui dalam periode waktu tertentu. Semakin besar nilai absolut VaR, semakin tinggi risiko kerugian.

Tabel 3. Analisis Stabilitas dan Risiko Simulasi Monte Carlo

Indikator Statistik	Nilai	Interpretasi Akademik
Expected Profit (E[X])	Rp 2.360.000	Nilai harapan laba harian
Standard Error	Rp 3.200	Tingkat kesalahan estimasi rata-rata
95% Confidence Interval (Lower Bound)	Rp 2.353.700	Batas bawah estimasi rata-rata laba
95% Confidence Interval (Upper Bound)	Rp 2.366.300	Batas atas estimasi rata-rata laba
Koefisien Variasi (CV)	13,6%	Tingkat risiko relatif terhadap rata-rata
Probabilitas Laba < Rp 2.000.000	12%	Risiko laba berada di bawah target
Probabilitas Laba > Rp 2.800.000	18%	Peluang memperoleh laba tinggi

Tabel ini membandingkan tingkat risiko berdasarkan beberapa parameter (misalnya mean, standar deviasi, dan VaR). Dari tabel ini dapat dilihat periode atau instrumen mana yang memiliki risiko lebih tinggi maupun lebih stabil, sehingga membantu dalam pengambilan keputusan investasi atau manajemen risiko. Secara keseluruhan, pembahasan ini menegaskan bahwa pendekatan Monte Carlo mampu menangkap dinamika ketidakpastian dalam sistem antrian secara komprehensif. Model tidak hanya memberikan estimasi kinerja rata-rata, tetapi juga menyediakan gambaran risiko dan variasi kinerja sistem. Dengan demikian, simulasi ini menjadi

alat analitis yang strategis dalam meningkatkan efisiensi operasional dan kualitas layanan pada coffee shop skala kecil (Adel & Mack, 2025).

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa simulasi Monte Carlo merupakan pendekatan yang efektif untuk menganalisis kinerja sistem antrian dan performa finansial pada operasional coffee shop skala kecil. Berdasarkan data historis periode 2022–2026, model mampu merepresentasikan ketidakpastian jumlah pelanggan serta dampaknya terhadap pendapatan, biaya, dan laba. Hasil simulasi yang konvergen membuktikan bahwa estimasi rata-rata dan parameter risiko yang diperoleh memiliki tingkat stabilitas statistik yang memadai.

Analisis distribusi dan persentil menunjukkan bahwa meskipun rata-rata laba harian berada pada tingkat yang stabil, terdapat kemungkinan terjadinya penurunan laba pada skenario ekstrem. Pendekatan Value at Risk (VaR) memberikan gambaran kuantitatif mengenai batas risiko yang mungkin terjadi, sehingga pengelola dapat memahami potensi fluktuasi kinerja operasional secara lebih terukur. Dengan demikian, keputusan tidak hanya didasarkan pada nilai rata-rata, tetapi juga mempertimbangkan aspek risiko.

Secara praktis, hasil penelitian ini memberikan implikasi manajerial dalam perencanaan kapasitas pelayanan, pengaturan tenaga kerja, serta strategi pengendalian biaya. Simulasi Monte Carlo dapat digunakan sebagai alat pendukung pengambilan keputusan berbasis data dalam menghadapi ketidakpastian operasional. Penelitian selanjutnya dapat mengembangkan model dengan mempertimbangkan sistem multi-server atau integrasi dengan analisis perilaku pelanggan untuk memperoleh gambaran sistem yang lebih komprehensif.

5. REFERENSI

- Adel, M. E., & Mack, C. A. (2025). Via to line and line-end contact failures: modeling and the impact of stochastics. *Journal of Micro/Nanopatterning, Materials and Metrology*, 24(1). <https://doi.org/10.1117/1.JMM.24.1.014001>
- Amato, S., & Arnold, A. (2025). A Data-Informed Mathematical Model of Microglial Cell Dynamics During Ischemic Stroke in the Middle Cerebral Artery. *Bulletin of Mathematical Biology*, 87(2). <https://doi.org/10.1007/s11538-025-01412-6>
- Aziminezhad, M., Shadabfar, M., Bediwy, A., & Mohamedelhasan, E. (2026). AI-based meta model for predicting the performance of low-carbon concrete, considering the effects of multiple waste materials. *Cleaner Materials*, 19. <https://doi.org/10.1016/j.clema.2025.100364>
- Bi, S., Beer, M., Cogan, S., & Mottershead, J. (2023). Stochastic Model Updating with Uncertainty Quantification: An Overview and Tutorial. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 204. <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2023.110784>
- Brilon, W., Wu, N., & Koenig, R. (2023). Delays and Queue Lengths at Traffic Signals With Two Greens in One Cycle. *Transportation Research Record*, 2677(2), 828–838. <https://doi.org/10.1177/03611981221108981>
- Cao, X., He, W., Shi, Y., An, T., Wang, X., Liu, F., Zhao, Y., Zhou, P., Chen, C., & He, J. (2023). EMMTE: An Excel VBA tool for source apportionment of nitrate based on the stable isotope mixing model. *Science of the Total Environment*, 868. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.161728>
- de Carvalho, A., Martins, A., Mota, A. F., & Loja, M. A. R. (2024). Variability on Functionally Graded Plates' Deflection Due to Uncertainty on Carbon Nanotubes' Properties. *Mathematical and Computational Applications*, 29(2). <https://doi.org/10.3390/mca29020022>
- Dębski, R., Gąsior, W., Gierlotka, W., & Dębski, A. (2025). Uncertainty-Aware Design of High-Entropy Alloys via Ensemble Thermodynamic Modeling and Search Space Pruning. *Applied Sciences (Switzerland)*, 15(16). <https://doi.org/10.3390/app15168991>
- Henri, H., Arona Diop, S., Renaud, J., & Coelho, L. C. (2023). Measuring fuel consumption in vehicle routing: new estimation models using supervised learning. *International Journal of Production Research*, 61(1), 114–130. <https://doi.org/10.1080/00207543.2021.1948133>
- Juini, M., Arfa, H., Bouchoucha, F., Abed, I., & Ichchou, M. (2025). Bending Vibration in Uncertain Function Gradient Material Structure Through Stochastic Wave Finite Element Method. *Journal of Vibration Engineering and Technologies*, 13(7). <https://doi.org/10.1007/s42417-025-02101-3>
- Le, X.-H., Hien, L. T. T., Ho, H. V., & Lee, G. (2024). Benchmarking the performance and uncertainty of machine learning models in estimating scour depth at sluice outlets. *Journal of Hydroinformatics*, 26(7), 1572–1588.

<https://doi.org/10.2166/hydro.2024.297>

- Li, G., Xue, Y., Qu, C., Qiu, D., Liu, Q., & Ma, X. (2023). Stability classification probability model of loess deposits based on MCS-Cloud. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(11), 31218–31230. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-24346-1>
- Liu, J., Cheng, Z., Yi, P., Li, W., & Wang, L. (2024). Predictive evaluation of city sustainability based on benchmarking method - A case study of 34 cities in northeastern China. *Sustainable Cities and Society*, 112. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2024.105627>
- Ma, Y., Qu, D., & Pyrozhenko, M. (2026). Bio-RegNet: A Meta-Homeostatic Bayesian Neural Network Framework Integrating Treg-Inspired Immunoregulation and Autophagic Optimization for Adaptive Community Detection and Stable Intelligence. *Biomimetics*, 11(1). <https://doi.org/10.3390/biomimetics11010048>
- Momeni, A., Piratla, K. R., Anderson, A., Chalil Madathil, K., & Li, D. (2023). Stochastic model-based leakage prediction in water mains considering pipe condition uncertainties. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 137. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2023.105130>
- Nechval, N. A., Berzins, G., & Nechval, K. (2023). New Applications of Computational Intelligence for Constructing Predictive or Optimal Statistical Decisions under Parametric Uncertainty. *Automatic Control and Computer Sciences*, 57(5), 473–489. <https://doi.org/10.3103/S0146411623050085>
- Wannenburg, J. W., Ngcobo, G. N., & Heyns, P. S. (2026). Development of a predictive, risk-based model to assess the effects of maintenance decisions on vertical mine shaft structures. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 171. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2026.107481>
- Zheng, Z., & Shuang, Q. (2026). Dynamic scenario analysis and prediction of embodied carbon emissions in China's building sector: A hybrid interpretable machine learning model. *Environmental Impact Assessment Review*, 116. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2025.108119>