

Perancangan Aplikasi Simulasi Manajemen Kasir Minimarket Berbasis Website Menggunakan Metode Discrete Event Simulation

Arya Adi Restu Putra Pratama^{*1}, Yoka Hobi Amaliawati², Fayi Agnia Limara³,
Dewi Oktafiani⁴

¹²³⁴Program Studi Informatika, STMIK AMIKOM Surakarta

¹²³⁴Sukoharjo, Indonesia

Email: ¹arya.10415@mhs.amikomsolo.ac.id,

²yoka.10438@mhs.amikomsolo.ac.id, ³fayi.10416@mhs.amikomsolo.ac.id,

⁴dewioktafiani@dosen.amikomsolo.ac.id

Abstract

Long queues at minimarket checkouts often occur due to an imbalance between customer arrival rates and service capacity, resulting in decreased customer satisfaction and operational efficiency. This study aims to analyze the effect of the number of cashiers on customer waiting time and cashier utilization rates, as well as to develop a queue simulation model as a decision-making tool. The method used is Discrete Event Simulation (DES) with an M/M/c queue model, where system parameters are obtained through field observations and the simulation is implemented in a web-based application. The simulation results show that with two cashiers, the average waiting time is 1.69 minutes with a cashier utilization rate of 25%, while with three cashiers, the waiting time is reduced to 0.11 minutes with a utilization rate of 16.7%, and with four cashiers, the waiting time is close to zero with a utilization rate of 12.5%. Based on these results, the three-cashier configuration is considered the most optimal because it can significantly reduce customer waiting time with an efficient cashier utilization rate. Thus, the web-based DES simulation has proven to be effective in evaluating the performance of the minimarket cashier queue system objectively and measurably.

Keywords: Simulation Application, Discrete Event Simulation, Cashier Management, Minimarket, Website

Abstraksi

Permasalahan antrian panjang pada kasir minimarket sering kali terjadi karena adanya ketidakseimbangan antara tingkat kedatangan pelanggan dengan kapasitas pelayanan, sehingga berdampak pada menurunnya kepuasan pelanggan dan efisiensi operasional. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh jumlah kasir terhadap waktu tunggu pelanggan dan tingkat pemanfaatan kasir serta mengembangkan model simulasi antrian sebagai alat pengambilan keputusan. Metode yang digunakan adalah Discrete Event Simulasi (DES) dengan model antrian M/M/c, dimana parameter sistem diperoleh melalui observasi lapangan dan simulasi tersebut diimplementasikan pada aplikasi berbasis web. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pada konfigurasi dua kasir waktu tunggu rata-rata adalah 1,69 menit dengan utilisasi kasir 25%, sedangkan untuk tiga kasir waktu tunggu berkurang menjadi 0,11 menit dengan utilisasi 16,7%, dan untuk empat kasir waktu tunggu mendekati nol dengan utilisasi 12,5%. Berdasarkan hasil tersebut, konfigurasi tiga kasir dinilai paling optimal karena mampu mengurangi waktu

tunggu pelanggan secara signifikan dengan tingkat pemanfaatan kasir yang masih efisien, sehingga simulasi DES berbasis web terbukti efektif dalam mengevaluasi kinerja sistem antrian kasir minimarket secara obyektif dan terukur.

Kata Kunci: Aplikasi Simulasi, Discrete Event Simulation, Manajemen Kasir, Minimarket, Website

1. PENDAHULUAN

Pada era saat ini, perkembangan teknologi mempengaruhi berbagai sektor industri termasuk salah satunya industri ritel. Minimarket adalah salah satu bentuk usaha ritel modern yang memberikan layanan cepat dan efisien di bagian kasir. Namun, salah satu masalah yang sering ditemui di minimarket adalah antrian yang panjang pada jam sibuk yang dapat mengurangi tingkat kepuasan pelanggan dan efisiensi operasional [1]. Manajemen antrian diperlukan serta merupakan aspek penting yang meningkatkan produktivitas layanan kasir dan mengoptimalkan penggunaan sumber daya manusia [2].

Antrian di kasir minimarket adalah cerminan dari sistem stokastik, karena kedatangan pelanggan dan waktu layanannya yang bersifat acak. Kebutuhan sistem stokastik yang paling baik didekati adalah dengan menggunakan simulasi peristiwa diskrit (*Discrete Event Simulation*). DES mampu menggambarkan proses antrian secara ilmiah dengan mempertimbangkan laju kedatangan, rata-rata laju layanan, dan jumlah kasir [3]. Dengan menggunakan pendekatan ini, skenario layanan dapat diuji tanpa mengganggu sistem nyata, sehingga menciptakan mode evaluasi yang bersifat objektif dan terukur. [4].

Dalam penelitian sebelumnya, penerapan DES dalam analisis sistem antrian telah dibahas di bidang perawatan kesehatan, transportasi, dan industri layanan. Namun, sebagian besar dari mereka masih fokus pada penggunaan perangkat lunak simulasi yang tidak *open source*, seperti *Arena* atau *MATLAB* yang dilakukan oleh [5], sehingga kurang fleksibel dan tidak bebas diakses oleh semua peneliti. Selain itu, penelitian serupa yang dilakukan oleh [6] telah menganalisis sistem antrian pada proses pembayaran di Minimarket X menggunakan metode DES melalui aplikasi perangkat lunak *AnyLogic*.

Berdasarkan permasalahan dan celah penelitian yang sebelumnya, Penelitian ini berfokus pada pengembangan model simulasi untuk antrian kasir di minimarket menggunakan metode Discrete Event Simulation (DES) yang diimplementasikan pada antarmuka berbasis web. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hubungan yang terjadi antara jumlah kasir, waktu tunggu, dan efisiensi pelayanan. Penelitian ini berupaya untuk menghasilkan model simulasi yang dapat direplikasi dan digunakan untuk evaluasi strategi pelayanan pada sistem kasir. Penelitian ini juga diharapkan dapat memberikan kontribusi berupa penerapan metode DES secara ilmiah dan terukur untuk analisis sistem antrian kasir, pengembangan sistem berbasis web untuk visualisasi hasil simulasi, dan model antrian yang dapat digunakan untuk membantu pengambilan keputusan dalam pengelolaan kasir di minimarket.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Terdahulu yang Relevan

2.1.1. Penelitian Tentang Metode *Discrete Event Simulation (DES)*

Penelitian yang dilakukan oleh [7] telah menganalisis dan mencoba mendeskripsikan penurunan waktu respon pelayanan pada Instalasi Gawat Darurat (IGD) RSUD HKBP Balige, penelitian ini mencoba mencapai target Kementerian Kesehatan RI yang mengharuskan waktu pelayanan kurang dari 5 menit. Dengan menggunakan metode *Discrete Event Simulation (DES)* dan aplikasi *Arena*, penelitian ini menunjukkan penurunan waktu respon rata-rata dari 8,61 menit menjadi 4,14 menit. Begitu juga dengan waktu respon maksimum, mengalami penurunan yang signifikan dari 26,30 menit menjadi 14,09 menit. Optimal skenario dalam penelitian ini menunjukkan bahwa 2 dokter dan 3 perawat pershift sudah lebih dari cukup untuk mencapai rata-rata waktu respon 4,95 menit yang merupakan standar nasional.

Penelitian yang serupa yang dilakukan oleh [8], telah mengusulkan untuk mengembangkan sistem pelayanan dengan menganalisis tingkat keramaian dan kinerja sistem antrian pada restoran, sistem antrian rekayasa pada penelitian tersebut telah melakukan di restoran Kota Cilegon. Analisis yang dihasilkan merupakan bantuan dari aplikasi *Arena*. Dari hasil analisis sistem antrian tersebut, diperoleh bahwa hasil pemanfaatan server yang sudah ada sangat tinggi yaitu mencapai rata – rata 99,3% dengan sekitar 10 pelanggan perjam.

Meskipun efektif, kedua penelitian tersebut masih bergantung pada perangkat lunak berbayar dan tertutup seperti *Arena*. Perangkat lunak tersebut masih memiliki keterbatasan dalam hal aksesibilitas, fleksibilitas, dan interaktivitas. Oleh karena itu, ada celah penelitian terkait belum adanya penerapan *DES* untuk sistem antrian kasir minimarket sebagai aplikasi berbasis web yang terbuka, interaktif, dan mudah diakses tanpa perlu instalasi perangkat lunak khusus. Berdasarkan celah tersebut, penelitian ini mengembangkan simulasi Discrete Event Simulation (DES) berbasis web untuk sistem antrian kasir minimarket yang bersifat open source, interaktif, dan dapat diakses melalui browser sebagai alat bantu pengambilan keputusan.

2.2. Konsep atau Teori yang Relevan

2.2.1. Permodelan dan Simulasi

Permodelan dan simulasi adalah suatu pendekatan kuantitatif yang digunakan untuk mempresentasikan sistem dunia nyata ke dalam suatu model abstrak atau komputasional untuk memahami, menganalisis, dan memprediksi perilaku sistem tersebut. Simulasi memungkinkan peneliti untuk memainkan pepatah tersebut dengan berbagai skenario tanpa mengganggu operasi aktual dari sistem nyata [9].

2.2.2. Stokastik

Model stokastik dalam simulasi peristiwa diskrit (*DES*) menggambarkan ketidakpastian sistem melalui proses-proses acak yang menentukan kejadian, waktu

layanan, dan rute kejadian. Teori tersebut menjelaskan bahwa pendekatan tradisional yang menghasilkan banyak trajektori acak satu-per-satu, serta memerlukan waktu komputasi besar untuk mendapatkan estimasi distribusi output yang andal [10].

2.2.3. Discrete Event Simulation (DES)

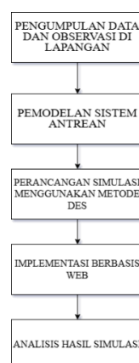
Discrete Event Simulation (DES) merupakan metode pemodelan yang merepresentasikan suatu sistem yang berubah hanya ketika peristiwa tertentu terjadi, seperti kedatangan pelanggan atau selesainya pelayanan. Dalam pendekatan ini, entitas akan melalui rangkaian aktivitas yang melibatkan antrian, waktu tunggu, dan pemrosesan berdasarkan aturan serta distribusi waktu tertentu. *DES* mampu menampilkan dinamika operasional secara realistis, termasuk panjang antrian, tingkat pemanfaatan kasir, dan kapasitas layanan. Keunggulannya adalah kemampuan menguji berbagai skenario operasional tanpa mengganggu sistem nyata, sehingga sangat sesuai untuk menganalisis layanan antrian [11].

2.2.4. Kunci Komponen

Dalam *Discrete Event Simulation (DES)*, terdapat lima komponen utama yang membentuk alur kerja simulasi. *Entity* adalah objek yang bergerak melalui sistem, seperti pelanggan yang datang untuk dilayani. Perubahan kondisi sistem terjadi ketika *event* berlangsung, misalnya kedatangan pelanggan atau selesainya pelayanan. Saat menunggu layanan, *entity* akan berada dalam *queue*, yaitu antrian yang terbentuk ketika sumber daya belum tersedia. *Resource* merupakan fasilitas pelayanan seperti kasir, yang memiliki kapasitas terbatas dan dapat berada dalam keadaan sibuk atau menganggur. Seluruh rangkaian kejadian ini dikendalikan oleh *simulation clock*, yaitu waktu virtual yang memastikan setiap *event* diproses sesuai urutannya [12].

3. METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini penulis menggunakan simulasi peristiwa diskrit (*Discrete Event Simulation*) untuk memodelkan dan menganalisis sistem antrian dikasir minimarket. Penulis memilih metode ini karena, metode ini dapat menggambarkan sistem nyata yang tersusun atas serangkaian peristiwa stokastik seperti kedatangan, pelayanan, dan transaksi akhir yang terjadi dalam suatu waktu.



Gambar 1. Alur Diagram Metode Penelitian

Pada penelitian ini digambarkan lima alur tahapan penelitian yang terdapat dalam gambar 1. Tahapan alur penelitian yang pertama yaitu melakukan pengumpulan data dan observasi lapangan untuk mendapatkan parameter sistem antrian yang tepat. Selanjutnya melakukan pemodelan sistem antrian untuk menyusun secara matematis proses pelayanan yang telah diobservasi. Pada tahap ketiga, dilakukan rancangan simulasi dengan metode DES untuk menggambarkan sistem secara kronologis dari peristiwa yang ada. Kemudian, pada tahap keempat dilakukan penggambaran dan pengujian berbagai skenario sistem pada simulasi berbasis web, tahapan ini adalah tahap mengimplementasikan visualisasi. Tahap terakhir yaitu analisis dan pengujian hasil simulasi dengan cara membandingkan dengan model teoritis untuk mengukur tingkat keakuratan model dan performa sistem antrian yang optimal.

3.1. Pengumpulan Data dan Observasi di Lapangan

Observasi lapangan dilakukan untuk pengumpulan data pada sistem pelayanan kasir di Minimarket XYZ. Data yang dikumpulkan mencakup tingkat kedatangan pelanggan, kecepatan pelayanan, rata-rata dan jumlah kasir. Observasi dilakukan selama lima hari dengan jam operasional 08.00 sampai 20.00 dan pencatatan interval dilakukan setiap 30 menit. Dari hasil observasi, diperoleh data bahwa rata-rata kedatangan pelanggan mencapai 10 pelanggan per jam. Selain itu, rata-rata waktu pelayanan setiap pelanggan adalah 3 menit. Dengan waktu pelayanan, waktu pelayanan kasir dihitung 20 pelanggan per jam. Hal ini digunakan sebagai parameter dalam sistem antrian pada simulasi.

3.2. Pemodelan Sistem Antrian



Gambar 2. Alur Diagram Model Sistem Antrian

Pada gambar 2, adalah struktur diagram alur untuk menjelaskan sistem antrian. Sistem ini dimulai dari kedatangan pelanggan, jika terdapat kasir yang tersedia, maka

pelanggan akan segera dilayani, tetapi jika semua kasir sedang sibuk, maka pelanggan akan dilayani setelah menunggu antrian. Pemodelan sistem antrian dalam penelitian ini menggunakan $M/M/c$, di mana M pertama (*Markovian arrival*) adalah waktu antara kedatangan pelanggan yang mengikuti distribusi poisson, M kedua (*Markovian service*) adalah waktu layanan yang mengikuti distribusi eksponensial, dan terakhir c adalah jumlah kasir (*Service*). Sistem antrian $M/M/c$ di untuk mengukur kinerja sistem dibandingkan dengan hasil simulasi nanti [13].

3.2.1. Tingkat Utilisasi Kasir

$$\rho = \frac{\lambda}{c\mu} \quad (1)$$

3.2.2. Probabilitas Tidak Terdapat Pelanggan Dalam Sistem

$$P_0 = \left[\sum_{n=0}^{c-1} \frac{(\frac{\lambda}{\mu})^n}{n!} + \frac{(\frac{\lambda}{\mu})^c}{c(1-\rho)} \right]^{-1} \quad (2)$$

3.2.3. Rata-Rata Jumlah Pelanggan Dalam Antrean

$$L_q = \frac{P_0 (\frac{\lambda}{\mu})^c \rho}{c! (1-\rho)^2} \quad (3)$$

3.2.4. Rata-Rata Jumlah Pelanggan Dalam Antrean

$$W_q = \frac{L_q}{\lambda} \quad (4)$$

3.2.5. Rata-Rata Waktu Total Pelanggan Berada Dalam Sistem

$$W_s = W_q + \frac{1}{\mu} \quad (5)$$

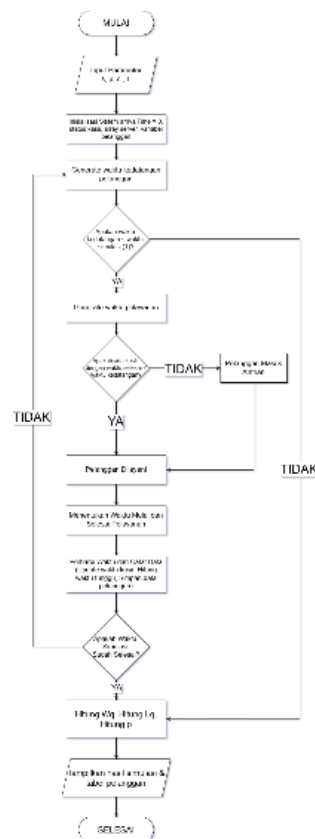
3.3. Desain Simulasi Menggunakan Metode DES

Pada tahap ini, simulasi menggunakan metode *Discrete Event Simulation (DES)*. Perubahan keadaan sistem terjadi karena kejadian tertentu, yaitu ketika pelanggan datang, dilayani oleh kasir, dan pelanggan pergi, yang diproses secara berurutan berdasarkan waktu. Dalam menggambarkan sistem yang nyata dan stokastik, pada simulasi ini diberikan nilai acak dengan sistem *Random Number Generator (RNG)* menggunakan fungsi *Math.random()*, dan diaplikasikan dalam distribusi *poisson* yang menjelaskan waktu antar kedatangan dan distribusi eksponensial sebagai waktu pelayanan pelanggan. Pada setiap simulasi, waktu simulasi disesuaikan dalam periode tertentu dan setiap skenario simulasi akan dilakukan 100 kali replikasi dengan tujuan untuk mendapatkan nilai performa sistem yang lebih stabil, mendapatkan nilai yang lebih tepat untuk mengurangi pengaruh variabilitas acak, dan hasil rata - rata replikasi yang akan digunakan dalam analisis. Selain itu, digunakan model matematis yaitu $M/M/c$ sebagai perbandingan [14]. Parameter yang digunakan dalam perancangan simulasi sistem antrian ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1. Parameter Simulasi Sistem Antrian

Parameter	Simbol	Nilai	Distribusi	Keterangan
Tingkat kedatangan pelanggan	λ	10 pelanggan/jam	Poisson	Hasil observasi
Waktu pelayanan rata-rata	μ	3 menit/pelanggan	Ekspensial	Pengukuran lapangan
Jumlah kasir	c	2 – 4 Kasir	–	Variabel skenario
Lama simulasi	t	8 jam/hari	–	Setiap skenario
Replikasi simulasi	r	100 kali	–	Uji kestabilan hasil

3.4. Desain Flowchart Simulasi



Gambar 3. Alur Diagram Simulasi

Dalam gambar 3, ini adalah gambar alur simulasi dari sistem antrian yang dimulai dari proses penginputan parameter seperti waktu kedatangan pelanggan (λ), waktu layanan kasir (μ), jumlah kasir (c), dan waktu simulasi (T). Selanjutnya, dilanjutkan dengan dilakukannya inisialisasi sistem, kemudian sistem akan menghasilkan waktu kedatangan pelanggan. Lalu akan ada keputusan apakah waktu kedatangan pelanggan kurang dari waktu simulasi?. Jika tidak, sistem akan langsung menghitung rata-rata waktu pelanggan

menunggu antrian, jumlah pelanggan di antrian, dan tingkat utilisasi kasir. Jika iya, sistem akan menghasilkan waktu layanan. Setelah mendapatkan hasil waktu layanan, sistem akan kembali ke keputusan, apakah ada kasir kosong?. Jika tidak, maka pelanggan akan masuk ke antrian dan dilayani. Sebaliknya, jika ada pelanggan akan dilayani segera. Setelah pelanggan selesai dilayani, sistem akan memproses waktu mulai dari layanan dan waktu akhir dari layanan. Setelah itu, sistem akan memperbarui waktu dan mencatat data. Kemudian akan masuk pada keputusan kembali, apakah waktu simulasi sudah selesai? Jika tidak, sistem akan mengulang lagi ke bagian yang menghasilkan waktu kedatangan pelanggan. Jika iya, sistem akan menghitung rata-rata waktu pelanggan menunggu antrian, jumlah pelanggan di antrian, dan tingkat utilisasi kasir. Dan terakhir, sistem akan menampilkan hasil simulasi dan tabel pelanggan.

3.5. Implementasi Sistem Simulasi Berbasis Web



Gambar 4. Tampilan UI Aplikasi Simulasi

Pada gambar 4, menunjukkan penerapan simulasi sistem antrian sebagai aplikasi berbasis web. Penulis mengintegrasikan sistem menggunakan bahasa pemrograman *HTML* dan *CSS* untuk antarmuka pengguna, dan *JavaScript* untuk logika utama simulasi dan perhitungan statistik. Dalam aplikasi, pengguna diperbolehkan untuk memasukkan parameter seperti waktu kedatangan pelanggan, waktu yang dihabiskan untuk layanan, dan jumlah kasir. Kemudian, sistem akan memproses setelah pengguna mengklik tombol jalankan simulasi. Selain itu, aplikasi menawarkan kemampuan untuk secara otomatis menjalankan perbandingan antara dua skenario kasir sampai dengan empat kasir secara otomatis.

3.6. Validasi dan Analisis Hasil Simulasi

Pada tahap akhir, validasi model simulasi dilakukan dengan tujuan untuk memastikan bahwa hasil simulasi telah dilakukan tepat dengan teoretis sistem antrian *M/M/c*. Proses validasi diterapkan dengan cara membandingkan hasil simulasi dengan hasil perhitungan teoretis. Dalam proses validasi meliputi rata - rata waktu tunggu pelanggan dalam antrian dan tingkat utilisasi kasir yang digunakan sebagai parameter.

Perbedaan antara hasil simulasi dan hasil teoretis akan dihitung menggunakan persentase kesalahan rata - rata dengan rumus sebagai berikut.

$$E = \frac{|X_{simulasi} - X_{teori}|}{X_{teori}} \times 100\% \quad (6)$$

Pada rumus yang ditunjukkan pada rumus 6, $X_{simulasi}$ adalah nilai parameter dari hasil simulasi sedangkan X_{teori} adalah nilai parameter dari hasil perhitungan teoretis. Model simulasi akan dinyatakan valid jika, nilai persentase kesalahan rata-rata (E) kurang dari atau sama dengan 10%. Dan setelah model simulasi dinyatakan valid, nantinya analisis akan difokuskan pada evaluasi jumlah kasir yang optimal berdasarkan keseimbangan antara waktu tunggu pelanggan dan tingkat utilisasi kasir melalui perbandingan beberapa skenario jumlah kasir.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Simulasi

Hasil simulasi sistem antrean M/M/c untuk berbagai skenario jumlah kasir disajikan pada Tabel 2. Tabel tersebut menampilkan nilai waktu tunggu rata-rata pelanggan, panjang antrean rata-rata, tingkat penggunaan kasir, dan galat penggunaan sebagai indikator validasi model simulasi.

Tabel 2. Hasil Simulasi dan Validasi Sistem Antrean

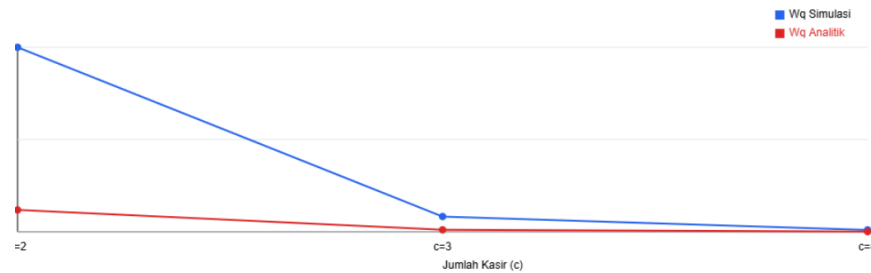
Jumlah Kasir (c)	Wq (menit)	Lq (orang)	Utilisasi Kasir p (%)	Galat Utilisasi (%)
2	1.69	0.28	25	0
3	0.11	0.02	16.7	0
4	0.01	0	12.5	0

Berdasarkan Tabel 2, penambahan jumlah kasir menyebabkan penurunan waktu tunggu rata-rata pelanggan dan panjang antrean secara signifikan. Sebaliknya, tingkat penggunaan kasir menunjukkan kecenderungan menurun seiring dengan bertambahnya jumlah kasir. Hal ini dapat mengindikasikan adanya pertukaran antara kualitas pelayanan dan efisiensi pemanfaatan sumber daya.

4.2. Analisis Hasil Simulasi

Dari hasil pada tabel 2, terlihat bahwa penambahan jumlah kasir secara signifikan mengurangi waktu tunggu pelanggan dan panjang antrian. Namun, ini juga menurunkan penggunaan kasir.

Pada konfigurasi 2 kasir, waktu tunggu rata-rata pelanggan tercatat sebesar 1,69 menit dengan panjang antrean rata-rata 0,28 pelanggan. Tingkat penggunaan kasir mencapai 25%. Pada konfigurasi 3 kasir, waktu tunggu rata-rata menurun drastis menjadi 0,11 menit, dan panjang antrean juga turun menjadi 0,02 pelanggan. Tingkat penggunaan kasir pada konfigurasi ini anjlok menjadi 16,7%. Pada konfigurasi 4 kasir, waktu tunggu dan panjang antrean rata-rata hampir nol, masing-masing sebesar 0,01 menit dan 0 pelanggan.



Gambar 5. Grafik Perbandingan Efektivitas Jumlah Kasir terhadap Waktu Tunggu

Pada gambar 5 menunjukkan grafik perbandingan variasi jumlah kasir, dimana kurva tersebut menunjukkan penurunan waktu tunggu seiring bertambahnya jumlah kasir. Hal ini tentu saja menandakan adanya peningkatan kemampuan sistem pelayanan.

4.3. Validasi Model Simulasi

Pada tahap validasi model simulasi, persentase kesalahan dihitung menggunakan kesalahan relatif antara nilai simulasi dan nilai teoritis. Hasil perhitungan pada tabel 2 menunjukkan bahwa seluruh skenario jumlah kasir menghasilkan nilai persentase kesalahan pemanfaatan sebesar 0%. Hal ini dikarenakan waktu kedatangan pelanggan yang terlalu sedikit yaitu 10 pelanggan per jam dengan waktu pelayanan 3 menit per pelanggan.

4.4. Pembahasan dan Interpretasi

Berdasarkan hasil simulasi dan validasi diperoleh konfigurasi tiga buah kasir yang merupakan titik optimal untuk sistem pelayanan minimarket. Pada konfigurasi ini efisiensi sistem mencapai 0,11 menit dalam melayani per pelanggan, selain itu tingkat utilisasi pada ketiga konfigurasi kasir dapat dikatakan stabil yaitu 16,7%. Dalam implementasi simulasi berbasis web ini memungkinkan pengguna untuk melakukan pengujian skenario secara interaktif tanpa memerlukan software khusus. Hal ini membuka peluang penggunaan sistem sebagai media pembelajaran dan perencanaan operasional pengelolaan toko di berbagai skala bisnis.

5. KESIMPULAN

Sebagai penutup, penelitian ini memberikan gambaran mengenai efektivitas penerapan metode simulasi dalam proses manajemen kasir minimarket. Adapun kesimpulan yang dapat dirangkum adalah sebagai berikut :

1. Penerapan metode *Discrete Event Simulation (DES)* pada aplikasi simulasi manajemen kasir berbasis web mampu menggambarkan proses pelayanan pelanggan secara efektif dan interaktif.
2. Penerapannya menunjukkan bahwa jumlah kasir berpengaruh langsung terhadap efisiensi rata-rata waktu tunggu pelanggan dalam antrian, rata-rata jumlah pelanggan dalam antrian dan tingkat pemanfaatan kasir.

3. Hasil simulasi menunjukkan bahwa sistem ini dapat menjadi alat bantu pengambilan keputusan bagi pengelola minimarket dalam menentukan jumlah kasir optimal tanpa perlu melakukan uji coba langsung.
4. Untuk pengembangan kedepannya, disarankan untuk menambahkan variabel seperti durasi antrian, tingkat kepuasan pelanggan, dan integrasi data penjualan untuk meningkatkan akurasi dan kemampuan beradaptasi terhadap berbagai kondisi ritel.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. Duka and Sumarlin, "DISCRETE EVENT SIMULATION UNTUK ANALISIS PELAYANAN BISNIS KULINER DI MIE BROSKE KOTA KUPANG," *J. Publ. Manaj. Inform.*, vol. 4, no. 2, pp. 202–215, 2025, doi: <https://doi.org/10.55606/jupumi.v4i2.3831>.
- [2] M. Shofiudin, S. Aini, M. Ihsan, and R. Wibowo, "Discrete Event Simulation untuk Analisis Pelayanan Bisnis Kuliner (Studi Kasus : Gacoan Merr)," *JITU J. Inform. Technol.*, vol. 8, no. 1, pp. 63–72, 2024, [Online]. Available: <https://ejournal.uby.ac.id/index.php/jitu/article/view/1048>
- [3] S. Nurmilawati, H. Windyatri, and G. Pradipto, "Analisis Dan Optimalisasi Antrian Di Bank X Cikarang Menggunakan Metode Simulasi Kejadian Diskrit dan 5S," *J. Artif. Intell. Digit. Bus.*, vol. 4, no. 2, pp. 4561–4570, 2025, doi: <https://doi.org/10.31004/riggs.v4i2.1102>.
- [4] M. Arsanti, O. Wardani, E. Chamalah, A. Azizah, L. Setiana, and T. Turahmat, "Pelatihan Pembuatan Iklan pada Media Digital E-Commerce sebagai Strategi Marketing para Pelaku Umkm Biyunge di Desa Panusupan Kecamatan Rembang, Kabupaten Purbalingga," *J. Pengabd. Kpd. Masy.*, vol. Vol 5, No, pp. 209–217, 2021, doi: <http://dx.doi.org/10.30734/j-abdipamas.v5i2.2184>.
- [5] F. Mohamad and S. Saharin, "Application of Discrete Event Simulation (DES) for Queuing System Improvement at Hypermarket," *KnE Soc. Sci.*, pp. 330–346, 2019, doi: [10.18502/kss.v3i22.5059](https://doi.org/10.18502/kss.v3i22.5059).
- [6] T. Melani and Y. Iriani, "Analysis and Modeling of Queuing System Simulation in Payment Process at Minimarket (Case Study of Minimarket X Yogyakarta)," *J. Indones. Sos. Teknol.*, vol. 5, no. 5, pp. 2142–2154, 2024, doi: <https://doi.org/10.59141/jist.v5i5.998>.
- [7] D. Simorangkir and Y. Manik, "Analisis Kebutuhan Sumber Daya Manusia di Instalasi Gawat Darurat (IGD) untuk Mempercepat Waktu Respon dengan Metode Discrete Event Simulation (Studi Kasus: IGD RSUD HKBP Balige)," *J. Sist. Tek. Ind.*, vol. 22, no. 2, pp. 78–87, 2020, doi: <https://doi.org/10.32734/jsti.v22i2.3943>.
- [8] A. Syaharani, M. Saputro, F. Noor, S. Dellanovia, and M. Shofa, "Analisis Simulasi Sistem Antrian Pemesanan Makanan di Restoran di Kota Cilegon," *J. Ilm. Tek. Ind.*, vol. 8, no. 4, pp. 813–824, 2024, doi: <https://doi.org/10.37090/indstrk.v8i4.1710>.
- [9] A. Gjerloev, S. Crowe, C. Pagel, Y. Jani, and L. Grieco, "A systematic review of simulation methods applied to cancer care services," *Heal. Syst.*, vol. 13, no. 4, pp. 274–294, 2024, doi: <https://doi.org/10.1080/20476965.2024.2322451>.
- [10] B. Zeigher, "Discrete Event Systems Theory for Fast Stochastic Simulation via Tree Expansion," *systems*, vol. 12, no. 3, pp. 1–16, 2024, doi: <https://doi.org/10.3390/systems12030080>.

- [11] S. Pawlak, M. Saternus, and K. Nowacki, "Application of Discrete Event Simulation in the Analysis of Electricity Consumption in Logistics Processes," *Energies*, vol. 18, no. 17, pp. 1–18, 2025, doi: <https://doi.org/10.3390/en18174580>.
- [12] M. Sliwa, D. Silwa, and O. Dodun, "Discrete-Event Simulation for Smart Manufacturing: Assessing Software, Industry Adoption, and Future Research Challenges," *Bull. Polytech. Inst. Iași. Mach. Constr. Sect.*, vol. 71, no. 1, pp. 105–124, 2025, doi: <https://doi.org/10.2478/bipcm-2025-0009>.
- [13] M. Samad, J. Abdullah, M. Karim, and K. Islam, "Optimizing Restaurant Queue Management: A Simulation-Based Approach Using Arena Software," *Asian J. Eng. Appl. Technol.*, vol. 13, no. 1, pp. 20–29, 2024, doi: <https://doi.org/10.70112/ajeat-2024.13.1.4234>.
- [14] N. Ibrahim, S. Nasib, A. Nuha, M. Katili, Nurwan, and D. Wungguli, "Analysis Analisis Sistem Antrian dengan Model M/M/C dalam Meningkatkan Efektivitas Kinerja Sistem," *Algoritm. J. Mat. Ilmu Pengetah. Alam, Kebumian dan Angkasa*, vol. 3, no. 2, pp. 20–34, 2025, doi: <https://doi.org/10.62383/algoritma.v3i2.431>.