

ANALISIS JUMLAH KASIR OPTIMAL PADA LAYANAN GALERI I ITERA DENGAN MODEL M/M/c

Disusun untuk memenuhi Tugas Besar Mata Kuliah Pemodelan Stokastik,
diampu oleh: Mika Alvionita S., M.Si. dan Rian Kurnia, S.Si., M.Si.



Disusun Oleh :

Marleta Cornelia Leander	(122450092)
Jaclin Alcavella	(122450015)
Elilya Octaviani	(122450009)

PROGRAM STUDI SAINS DATA

FAKULTAS SAINS

INSTITUT TEKNOLOGI SUMATERA

2025

ABSTRAK

Tujuan penelitian ini adalah menganalisis kinerja sistem antrian serta menentukan jumlah kasir yang optimal untuk pelayanan Galeri 1 Institut Teknologi Sumatera dengan menggunakan model antrian M/M/c. Pengambilan data dilakukan dengan observasi data secara langsung pada jam sibuk (12.00-13.99 WIB) dengan mencatat waktu kedatangan dan waktu pelayanan pelanggan. Hasil analisis menunjukkan bahwa rata-rata tingkat kedatangan pelanggan sebesar 2,29 pelanggan per menit, sedangkan tingkat pelayanan per kasir sekitar 1 pelanggan setiap 33 detik. Penerapan model M/M/2 menghasilkan nilai utilisasi sistem sebesar 0,63, yang menandakan bahwa dua kasir mampu menangani beban kedatangan pelanggan tanpa menyebabkan penumpukan antrian. Parameter kinerja sistem seperti waktu tunggu rata-rata dalam antrian sekitar 21,8 detik, waktu total dalam sistem yang hanya 54,9 detik serta rata-rata panjang antrian yang berada di bawah satu orang menunjukkan bahwa proses layanan berlangsung stabil dan efisien. Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa jumlah kasir optimal pada jam sibuk adalah dua orang, dan kapasitas pelayanan saat ini sudah memadai. Rekomendasi untuk peningkatan efisiensi lebih lanjut meliputi manajemen arus kedatangan pelanggan serta perbaikan proses administratif untuk menjaga stabilitas sistem.

Kata kunci: antrian, M/M/c, optimasi

BAB I

PENDAHULUAN

1. 1 Latar Belakang

Dalam kehidupan sehari-hari, sebuah proses transaksi berhubungan dengan antrian atau mendapatkan sebuah pelayanan untuk mendapatkan barang atau jasa. Antrian pada sebuah pelayanan dapat terjadi ketika kemampuan pelayanan tidak cukup untuk kebutuhan akan pelayanan [1]. Antrian ini merupakan salah satu bentuk pelayanan yang kurang baik karena mengharuskan konsumen untuk menunggu untuk dilayani [2].

Setiap institusi pendidikan umumnya memiliki fasilitas, salah satunya adalah kantin atau di Institut Teknologi Sumatera lebih familiar dengan nama galeri. Galeri merupakan salah satu fasilitas yang digunakan oleh mahasiswa, dosen dan tenaga pendidikan untuk memenuhi kebutuhan konsumsi maupun non-konsumsi sehari-hari sehingga pelayanan pada saat proses transaksi merupakan salah satu hal yang dilihat pelanggan. Teori antrian berhubungan dengan pelanggan yang harus mengantri untuk mendapatkan pelayanan [3]. Pada saat jam istirahat terutama pada pukul 12.00 - 13.00 WIB, galeri menjadi salah satu tempat yang ramai dikunjungi yang mengakibatkan mahasiswa/i harus menunggu saat melakukan pembayaran. Hal ini menunjukkan fenomena antrian yang panjang sehingga jumlah antrian terhadap pelayanan melebihi kapasitas yang dapat diberikan pada waktu tertentu. Antrian yang panjang ini dapat menimbulkan kepuasan berdasarkan persepsi bagi individu sehingga hal ini menjadi salah satu permasalahan antrian yang dapat diselesaikan dalam jasa pelayanan dengan cepat dan tepat [3]. Sistem antrian pada galeri 1 di Institut Teknologi Sumatera termasuk dalam pelayanan yang menggunakan antrian ganda sehingga penelitian ini menganalisis sistem antrian yang diterapkan dengan metode M/M/c dan pengambilan data dilakukan dengan observasi langsung serta diolah menggunakan *software tools* Rstudio dalam menganalisis jumlah kasir optimal dalam layanan galeri I untuk Menganalisis tingkat kedatangan pelanggan rata-rata dan tingkat pelayanan rata-rata per kasir pada sistem antrian galeri selama jam sibuk.

1. 2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah dapat ditemukan sebagai berikut.

1. Berapa tingkat kedatangan pelanggan rata-rata pada sistem antrian galeri 1 Institut Teknologi Sumatera selama jam istirahat (12.00-13.00 WIB)?
2. Berapa rata-rata jumlah pelanggan yang menunggu dalam antrian, jumlah pelanggan dalam sistem, waktu tunggu dalam antrian, tingkat pelayanan rata-rata per kasir, dan waktu total dalam sistem pada kondisi sistem antrian?
3. Bagaimana rekomendasi perbaikan sistem antrian untuk meningkatkan efisiensi operasional di galeri 1 Institut Teknologi Sumatera?

1. 3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah, adapun tujuan pada laporan ini sebagai berikut.

1. Menganalisis tingkat kedatangan pelanggan rata-rata pada sistem antrian galeri 1 Institut Teknologi Sumatera selama jam sibuk.
2. Menghitung dan menganalisis tingkat pelayanan rata-rata per kasir serta parameter kinerja sistem antrian meliputi rata-rata jumlah pelanggan dalam antrian, jumlah pelanggan dalam sistem, waktu tunggu dalam antrian, dan waktu total dalam sistem.
3. Memberikan rekomendasi perbaikan sistem antrian untuk meningkatkan efisiensi operasional dan kepuasan pelanggan di galeri 1 Institut Teknologi Sumatera.

1. 4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini memiliki manfaat sebagai berikut.

1. Membantu meningkatkan efisiensi operasional melalui rekomendasi perbaikan sistem antrian.
2. Mengurangi waktu tunggu dalam antrian sehingga waktu istirahat dapat dimanfaatkan lebih efektif.
3. Meningkatkan kualitas pelayanan kepada pelanggan melalui pengurangan waktu tunggu.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Pada penelitian ini, terdapat penelitian terdahulu yang menjadi dasar acuan penelitian yang disajikan pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu

Judul Penelitian	Nama Peneliti (Tahun)	Metode	Hasil Penelitian
Analisis Sistem Antrian dalam Optimalisasi Layanan di Supermarket Hyperstore	Benediktus L.V. Bataona dan Antonio E.L. Nyoko (2020)	M/M/S	Pada penelitian yang dilakukan pukul 15.00-20.00 WITA selama 21 hari, 6 kasir pada supermarket Hyperstore terlalu banyak. Jumlah kasir yang optimal dengan 1 hingga 2 jalur dengan maksimal waktu rata-rata 1 menit dan jumlah rata-rata 2 orang.
Optimalisasi Antrian dan Waktu Tunggu Kantin Promise UNP dengan Teori Antrian untuk Efisiensi Operasional	Mike Tri Ardianti, Sunika Fara Dewanti, Moh. Jauhari Al Iqsan, Ricky Priyo Wicaksono dan Arthur Daniel Limantara	M/M/S	Penelitian ini menghasilkan rekomendasi dengan menambahkan satu loket pelayanan menjadi tiga server selama jam sibuk. Solusi ini menurunkan waktu tunggu antrian sebesar 92% atau dari 3 menit menjadi 15 detik sehingga kecepatan pelayanan menjadi lebih efektif.

(2025)

Analisis Teori Antrian dan Pelayanan pada Restoran Cepat Saji Richeese di Bencolen Mall Kota Bengkulu	Yuli Yusnita dan Selvin Marsa (2024)	M/M/1	Hasil penelitian menunjukkan rata-rata kedatangan pelanggan per jam sebanyak 7 orang sementara rata-rata pelayanan pelanggan per jam sebanyak 12 orang, sehingga probabilitas pelanggan menunggu dan tidak ada pelanggan sebesar 58,33% dan 41,67%.
Analisis Kualitas Pelayanan Kantin Universitas Telkom Terhadap Kepuasan Mahasiswa Universitas Telkom	Zaki Chandra Negara dan Maya Ariyanti (2020)	ServQual dan Importance Performance Analysis	Pada penelitian ini, hasil penelitian menunjukkan nilai tingkat kesesuaian ketersediaan kotak saran di kantin, keramahan pegawai kantin menunjukkan angka 96,11% dan 75,38% . Secara keseluruhan, kualitas pelayanan kantin memiliki nilai tingkat kesesuaian sebesar 85,706%.

2.2 Sistem Antrian

Antrian merupakan suatu kegiatan yang terjadi ketika sejumlah pelanggan atau barang yang datang tidak seimbang dengan jumlah fasilitas pelayanan dalam melayani pelanggan. Hal ini bisa terjadi karena fasilitas terbatas dalam pelayanan sehingga terjadi penumpukan pelanggan, sehingga dapat menimbulkan ketidaknyamanan bagi para pelanggan dalam melakukan transaksi [4]. Antrian dapat terjadi di beberapa tempat, seperti antrian pasien rumah sakit, antrian teller bank, antrian pengisian bahan bakar, antrian kantin/*food court* dan lainnya [1].

2.3 Notasi Kendall dalam Sistem Antrian

Dalam sistem antrian, antrian dapat dicirikan dengan menggunakan notasi kendall. Notasi ini digunakan untuk menemukan karakteristik utama dari antrian [5]. Notasi kendall dilakukan dengan mengelompokkan berbagai macam model antrian yang berbeda yang ditulis dalam persamaan 1 [6].

$$(a/b/c) : (d/e/f) \quad (1)$$

Keterangan :

a : proses kedatangan

b : waktu pelayanan

c : jumlah server

d : jenis antrian (FIFO, LIFO, SIRO, PS)

e : kapasitas antrian dan pelayanan

f : kapasitas kedatangan

2.4 Karakteristik Proses Kedatangan (*Arrival Process*)

Kedatangan memiliki ciri khas seperti ukuran dari populasi, perilaku dan sebuah distribusi statistik [7]. Dari ciri ini, distribusi kedatangan didasari dengan asumsi distribusi Poisson dengan melihat pola kedatangan pelanggan per unit waktu diasumsikan bersifat acak [4].

2.5 Karakteristik Proses Pelayanan (*Service Process*)

Pelayanan merupakan salah satu fasilitas yang dilakukan untuk membangun kepercayaan serta loyalitas pelanggan. Fasilitas pelayanan memiliki beberapa aspek seperti waktu pelayanan, sistem antrian serta disiplin dalam antrian [4]. Sistem pelayanan berkaitan erat dengan hasil tingkat kepuasan pelanggan sehingga pengalaman pelayanan kepada konsumen harus optimal dan memuaskan [8].

Proses pelayanan merupakan elemen penting dalam sistem antrian karena menentukan seberapa cepat pelanggan dapat diselesaikan oleh fasilitas layanan. Kinerja pelayanan dipengaruhi oleh

durasi layanan, kapasitas server, serta pola waktu penyelesaian yang biasanya bersifat acak. Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa pada banyak layanan nyata, waktu pelayanan mengikuti distribusi eksponensial, yang berarti interval pelayanan bersifat *memoryless* atau tidak bergantung pada waktu sebelumnya [8]. Selain itu karakteristik yang dimiliki juga bersifat acak [9].

Pada model M/M/c, laju pelayanan dilambangkan dengan μ , yaitu rata-rata banyaknya pelanggan yang dapat dilayani per satuan waktu. Distribusi eksponensial yang digunakan dalam proses pelayanan memiliki fungsi densitas peluang seperti pada persamaan 2.

$$f(t) = \mu e^{-\mu t}, t \geq 0 \quad (2)$$

dan fungsi peluang kumulatif seperti pada persamaan 3.

$$F(t) = 1 - e^{-\mu t} \quad (3)$$

Keterangan:

μ : laju pelayanan (*service rate*)

t : waktu pelayanan (*service time*)

Dari rumus tersebut dapat dinyatakan bahwa semakin besar nilai μ , maka waktu pelayanan yang diperlukan akan semakin kecil. Dapat dikatakan bahwa karakteristik layanan disini dapat bersifat acak (*random service time*) dan acak.

2.6 Model Antrian M/M/c

Model antrian M/M/c merupakan sebuah model yang berdistribusi Poisson/Eksponensial yang digunakan dalam antrian untuk mengidentifikasi pola kedatangan pelanggan. Umumnya, disiplin antrian yang digunakan pada model M/M/c adalah *First Come First Served* (FCFS) dan pemanggilan dalam kapasitas sistem dan sumber tidak terbatas [5]. Model antrian M/M/c memiliki karakteristik pelayanan saluran ganda sehingga dapat memberikan ukuran dasar antrian peluang masa sibuk seperti pada persamaan berikut [6].

$$\rho = \frac{\lambda}{s\mu} \quad (4)$$

$$P_0 = \left[\sum_{n=0}^{s-1} \frac{(\lambda/\mu)^n}{n!} + \frac{(\lambda/\mu)^s}{s! (1-\rho)} \right]^{-1} \quad (5)$$

$$L_q = \frac{p_0(\lambda/\mu)^s \rho}{s!(1-\rho)^2} \quad (6)$$

$$W_q = \frac{L_q}{\lambda} \quad (7)$$

$$L_s = L_q + \frac{\lambda}{\mu} \quad (8)$$

$$W_s = W_q + \frac{1}{\lambda} \quad (9)$$

Keterangan :

ρ : tingkat utilisasi sistem

s : jumlah server (jumlah petugas)

P_0 : peluang sistem berada pada keadaan kosong (tidak ada pelanggan)

μ : laju pelayanan per server

λ : laju kedatangan pelanggan

L_q : rata-rata banyaknya pelanggan dalam antrian (menunggu dan sedang dilayani)

L_s : rata-rata pelanggan yang menunggu dalam antrian (belum dilayani)

W_q : rata-rata waktu menunggu sebelum pelanggan mulai dilayani

W_s : rata-rata total waktu pelanggan berada di sistem (menunggu dan dilayani)

2.7 Konsep Utilisasi Server (ρ) dan Stabilitas Sistem

Utilisasi server (ρ) adalah indikator utama yang merepresentasikan seberapa sibuk suatu fasilitas pelayanan dalam sistem antrian. Nilai ρ menunjukkan seberapa besar proporsi waktu server dipakai untuk melayani pelanggan dibandingkan dengan waktu total yang tersedia. Dalam model M/M/c, utilisasi dirumuskan sebagai:

$$\rho = \frac{\lambda}{c\mu} \quad (10)$$

di mana λ adalah laju kedatangan pelanggan, μ adalah laju pelayanan, dan c adalah jumlah server. Nilai ρ yang semakin tinggi mencerminkan server yang semakin sibuk, sementara nilai ρ rendah menunjukkan banyak waktu menganggur. Konsep ini digunakan untuk menilai apakah sistem berada dalam kondisi stabil. Sistem dianggap stabil ketika $\rho < 1$ sehingga kapasitas pelayanan masih mampu menampung laju kedatangan pelanggan. Ketika $\rho \geq 1$, server tidak dapat menyeimbangi laju kedatangan, sehingga panjang antrian akan meningkat tanpa batas. Sebaliknya, nilai ρ yang terlalu rendah menunjukkan adanya kapasitas berlebih, yang menyebabkan sumber daya tidak dimanfaatkan secara optimal [9].

Utilisasi server juga banyak digunakan untuk mengevaluasi kebutuhan penyesuaian kapasitas. Penurunan nilai ρ setelah penambahan jumlah server menunjukkan tingkat kesibukan server yang semakin rendah serta peningkatan stabilitas sistem. Dengan demikian, analisis ρ menjadi dasar dalam menentukan kapasitas optimal, memastikan keseimbangan antara efisiensi penggunaan server dan kemampuan sistem untuk menjaga antrian tetap terkendali [10].

2.8 Optimasi Jumlah Server dalam Sistem M/M/c

Optimasi jumlah server merupakan langkah penting dalam analisis sistem antrian untuk menentukan kapasitas pelayanan yang paling efisien. Dalam model M/M/c, jumlah server c sangat memengaruhi kinerja sistem, terutama panjang antrian, waktu tunggu, dan tingkat pemanfaatan server. Semakin banyak server yang digunakan, waktu tunggu pelanggan cenderung menurun, namun biaya operasional meningkat, hal tersebut juga berlaku sebaliknya.

Proses optimasi pada model M/M/c umumnya dilakukan dengan mengevaluasi perubahan nilai indikator performansi seperti panjang antrian (L_q), jumlah pelanggan dalam sistem (L_s), waktu tunggu rata-rata (W_q), waktu total dalam sistem (W_s), serta utilitas server (ρ) (ρ) ketika jumlah server diubah. Berdasarkan teori, sistem dikatakan stabil apabila memenuhi syarat:

$$\rho = \frac{\lambda}{c\mu} < 1 \quad (11)$$

yang berarti kapasitas pelayanan total masih mampu menampung laju kedatangan. Ketika dilakukan penambahan server maka nilai ρ akan mengalami penurunan, sehingga beban kerja server lebih seimbang dan antrian berkurang. Dengan demikian, pemilihan server optimal dilakukan dengan membandingkan skenario jumlah server hingga diperoleh kombinasi yang menghasilkan waktu tunggu rendah namun tetap efisien.

2.9 Visualisasi Data

Visualisasi data merupakan istilah umum dalam membantu manusia memahami data berupa gambar atau visual. Visualisasi data dapat menyederhanakan sebuah data yang berbentuk abstrak dan kompleks menjadi bentuk sederhana yang mudah dipahami. Sebuah visualisasi data dikatakan efektif apabila dapat menjelaskan data serta disajikan dengan menarik sehingga pembaca ingin mengetahui informasi dalam data tersebut [11]. Umumnya, visualisasi data berupa grafik yang diperoleh dari pengolahan data.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data primer yang diperoleh dari sistem layanan transaksi di Galeri 1 Institut Teknologi Sumatera. Data tersebut menggambarkan aktivitas pelanggan yang memanfaatkan layanan pada periode waktu sibuk. Data dimasukkan secara manual oleh para peneliti pada lembar observasi yang mencakup waktu kedatangan pelanggan, waktu dimulainya layanan, dan waktu berakhirnya layanan oleh setiap kasir. Data hasil observasi dicatat menggunakan *Google Spreadsheet*, sehingga setiap kolom dapat diolah kembali untuk proses analisis antrian. Tabel 3.1 (Server A) dan Tabel 3.2 (Server B) menampilkan 10 baris awal dari dataset penelitian.

Tabel 3.1 Data Server A

Pelanggan	Tanggal	Waktu_ Datang	Waktu_ Dilayani	Waktu_ Selesai	Durasi_ Tunggu	Durasi_ Layanan	Durasi _Total
1	2025-11-10	12:00:01	12:00:02	12:00:39	0.02	0.62	0.63
2	2025-11-10	12:01:13	12:01:14	12:02:34	0.02	1.33	1.35
3	2025-11-10	12:02:36	12:02:37	12:03:06	0.02	0.48	0.50
...
219	2025-11-12	12:57:25	12:57:40	12:58:02	0.25	0.37	0.62
220	2025-11-12	12:58:05	12:58:05	12:59:03	0.00	0.97	0.97
221	2025-11-12	12:59:48	12:59:48	13:00:32	0.00	0.73	0.73

Tabel 3.1 Data Server B

Pelanggan	Tanggal	Waktu_ Datang	Waktu_ Dilayani	Waktu_ Selesai	Durasi_ Tunggu	Durasi_ Layanan	Durasi _Total
1	2025-11-10	12:00:05	12:00:35	12:01:05	0.50	0.50	1.00
2	2025-11-10	12:00:18	12:00:50	12:01:20	0.53	0.50	1.03
3	2025-11-10	12:00:32	12:01:10	12:01:40	0.63	0.50	1.13
...
189	2025-11-12	12:47:18	12:49:19	12:49:45	2.02	0.43	2.45
190	2025-11-12	12:47:29	12:49:49	12:50:19	2.33	0.50	2.83
191	2025-11-12	12:47:44	12:50:15	12:50:26	2.52	0.18	2.70

3.2 Metode Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data pada penelitian ini dilakukan melalui observasi langsung terhadap aktivitas layanan transaksi di Galeri 1 Institut Teknologi Sumatera. Pengamatan dilaksanakan pada tanggal 10, 11, dan 12 November 2025 selama periode sibuk pukul 12.00–13.00 WIB. Selama observasi, setiap pelanggan yang datang dicatat waktu kedatangan, waktu mulai dilayani, dan waktu selesainya secara *real-time* menggunakan *Google Spreadsheet* dan jam digital untuk memastikan presisi pencatatan. Karena terdapat dua kasir yang melayani secara paralel, pencatatan dilakukan secara terpisah untuk masing-masing server guna melihat perbedaan pola pelayanan. Setelah observasi selesai, seluruh data dirapikan dalam *Google Spreadsheet*, kemudian diperiksa kembali untuk memastikan konsistensi dan validitas sebelum digunakan dalam analisis antrian.

3.3 Variabel Penelitian

Penelitian ini mengamati beberapa variabel utama yang berkaitan dengan proses layanan transaksi di Galeri 1 Institut Teknologi Sumatera. Variabel tersebut dijelaskan pada tabel 3.3.

Tabel 3.3 Deskripsi variabel penelitian

Variabel	Deskripsi
Waktu Kedatangan Pelanggan (<i>Arrival Time</i>)	Waktu pelanggan tiba di kasir dan masuk ke dalam sistem antrian.
Waktu Mulai Dilayani (<i>Service Start Time</i>)	Waktu ketika pelanggan mulai memperoleh layanan dari kasir.
Waktu Selesai Dilayani (<i>Service End Time</i>)	Waktu ketika proses pelayanan selesai dan pelanggan meninggalkan sistem.
Waktu Tunggu (<i>Waiting Time</i>)	Durasi antara waktu tiba dan waktu mulai dilayani.
Waktu Pelayanan (<i>Service Time</i>)	Durasi pelayanan yang diberikan kasir kepada pelanggan.
Waktu Total Dalam Sistem (<i>Sojourn Time</i>)	Total waktu yang dihabiskan pelanggan mulai dari tiba hingga selesai dilayani.
Identitas Kasir (ServerID)	Menunjukkan server yang melayani pelanggan (Kasir A atau Kasir B).
Jumlah Pelanggan Selama Pengamatan	Banyaknya pelanggan yang datang pada setiap hari observasi.

Semua variabel tersebut akan digunakan untuk menganalisis waktu tunggu rata-rata, waktu pelayanan rata-rata, serta kondisi stabilitas sistem berdasarkan model M/M/2.

3.4 Tahap Pengolahan dan Analisis Data

Tahapan untuk mengolah dan menganalisis data meliputi:

3.4.1 Pengolahan Data Awal

Data mentah berupa waktu kedatangan, waktu mulai dilayani, dan waktu selesai dilayani terlebih dahulu diperiksa dan dikonversi ke format waktu yang konsisten. Seluruh waktu dikonversi menjadi detik, sehingga dapat digunakan dalam perhitungan matematis. Dataset dari kedua kasir (Server A dan Server B) digabungkan menjadi satu dataset untuk memperoleh gambaran keseluruhan beban sistem.

3.4.2 Perhitungan Variabel Durasi

Perhitungan variabel durasi dilakukan dengan mengolah data waktu yang telah dicatat selama observasi. Setelah seluruh waktu kedatangan, waktu mulai dilayani, dan waktu selesai pelayanan dipastikan memiliki format yang seragam, ketiganya diolah menggunakan Excel dan RStudio untuk menghasilkan durasi waktu tunggu, durasi pelayanan, dan total waktu pelanggan berada dalam sistem. Seluruh selisih waktu dihitung secara otomatis dan kemudian dikonversi ke dalam satuan detik agar sesuai dengan kebutuhan analisis model antrian. Hasil perhitungan durasi ini selanjutnya digunakan sebagai dasar untuk menentukan parameter kinerja, seperti tingkat kedatangan, tingkat pelayanan, serta karakteristik sistem antrian pada tahap analisis berikutnya.

3.4.3 Penentuan Parameter Dasar Sistem Antrian

Model antrian M/M/2 membutuhkan tiga parameter utama:

1. Laju Kedatangan (λ)

Laju kedatangan dihitung dari jumlah pelanggan yang datang dalam rentang waktu observasi. Observasi dilakukan selama 3 hari pada periode 12.00–13.00 WIB. Total waktu pengamatan = 3 × 3600 detik, maka:

$$\lambda = \frac{\text{Jumlah Total Pelanggan}}{3 \times 3600} \quad (12)$$

Nilai λ menggambarkan rata-rata pelanggan yang datang setiap detik.

2. Laju Pelayanan (μ)

Laju pelayanan diperoleh dari rata-rata waktu pelayanan seluruh pelanggan:

$$\lambda = \frac{1}{S} \quad (13)$$

Nilai μ menunjukkan kemampuan kasir melayani pelanggan dan S merupakan rata-rata waktu pelayanan.

3. Jumlah Server (c)

Jumlah server ditentukan dari jumlah kasir aktif. Pada sistem ini, digunakan $c = 2$.

3.4.4 Pemodelan Sistem Antrian M/M/2

Pemodelan sistem antrian pada penelitian ini menggunakan pendekatan M/M/2 karena karakteristik layanan dalam penelitian ini mengamati dua kasir yang melayani pelanggan secara paralel dengan pola kedatangan yang bersifat acak. Setelah parameter dasar seperti tingkat kedatangan dan tingkat pelayanan diperoleh, model ini digunakan untuk menghitung beberapa komponen, yaitu panjang antrean (L_q), banyaknya pelanggan dalam sistem (L_s), waktu tunggu rata-rata (W_q), waktu total rata-rata (W_s), tingkat pemanfaatan server (ρ), serta peluang server berada dalam kondisi kosong (P_0). Panjang antrean dan jumlah pelanggan dalam sistem menunjukkan seberapa padat layanan berlangsung. Waktu tunggu dan waktu total mencerminkan pengalaman pelanggan selama berada di antrean. Tingkat pemanfaatan server menjelaskan apakah kapasitas kasir sudah sesuai dengan beban kerja. Peluang server kosong menggambarkan seberapa sering kasir tidak melayani pelanggan. Melalui serangkaian indikator ini, penelitian dapat menilai apakah dua kasir yang tersedia sudah optimal atau perlu dilakukan penyesuaian kapasitas layanan.

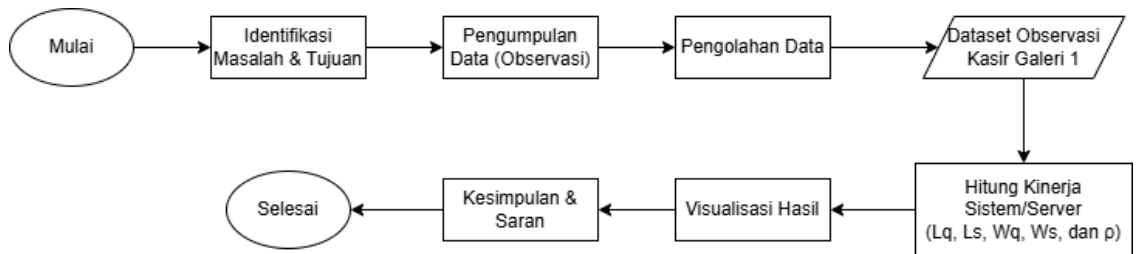
3.4.5 Visualisasi dan Interpretasi

Visualisasi digunakan untuk membantu memahami pola kinerja sistem antrian secara lebih jelas dan memudahkan proses interpretasi hasil analisis. Setelah seluruh parameter antrian dihitung, data kemudian disajikan dalam bentuk grafik sehingga perubahan dan kecenderungan yang terjadi pada sistem dapat diamati dengan lebih mudah. Histogram waktu tunggu, waktu pelayanan, dan waktu total pelanggan dalam sistem ditampilkan untuk melihat persebaran durasi layanan dan

mengidentifikasi apakah terdapat pola tertentu, seperti penumpukan antrean atau pelayanan yang terlalu lama pada waktu-waktu tertentu. Melalui visualisasi tersebut, peneliti dapat menilai apakah dua kasir yang beroperasi sudah bekerja secara optimal, melihat seberapa besar beban layanan yang diterima sistem, serta menentukan apakah kapasitas pelayanan saat ini sudah memadai atau perlu dilakukan perbaikan.

3.5 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian disajikan pada Gambar 3.1 yang menggambarkan tahapan-tahapan yang dilakukan selama proses penelitian.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Deskripsi Data Observasi

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data primer hasil observasi langsung terhadap aktivitas layanan transaksi di Galeri 1 Institut Teknologi Sumatera. Observasi dilakukan pada tanggal 10, 11, dan 12 November 2025, khusus pada periode sibuk pukul 12.00–13.00 WIB. Pada setiap hari pengamatan, seluruh pelanggan yang datang dicatat waktu kedatangannya, waktu mulai dilayani, dan waktu selesainya. Dua kasir yang beroperasi dicatat secara terpisah sehingga setiap transaksi dapat diidentifikasi apakah berasal dari Server A atau Server B. Setelah seluruh data terkumpul, dilakukan proses pembersihan dan penyatuan dataset dari kedua server, menghasilkan total 412 baris data pelanggan selama tiga hari observasi. Semua waktu kemudian dikonversi ke format POSIXct dan diubah ke satuan detik sehingga dapat dianalisis secara kuantitatif untuk kebutuhan model M/M/2. Data ini mencerminkan beban kerja nyata yang diterima kedua kasir dan menjadi dasar dalam penentuan parameter sistem antrian.

4.2 Statistika Deskriptif

Statistika deskriptif digunakan untuk memberikan gambaran umum mengenai karakteristik data sebelum masuk ke tahap analisis antrian. Dalam penelitian ini, tiga variabel utama dianalisis, yaitu waktu tunggu, waktu pelayanan, dan waktu total dalam sistem. Ketiga variabel ini menjadi indikator penting untuk memahami performa dan stabilitas proses pelayanan di Galeri 1 ITERA. Tabel Statistika Deskriptif dapat dilihat pada tabel 4.2 berikut.

Tabel 4.2. Statistika deskriptif

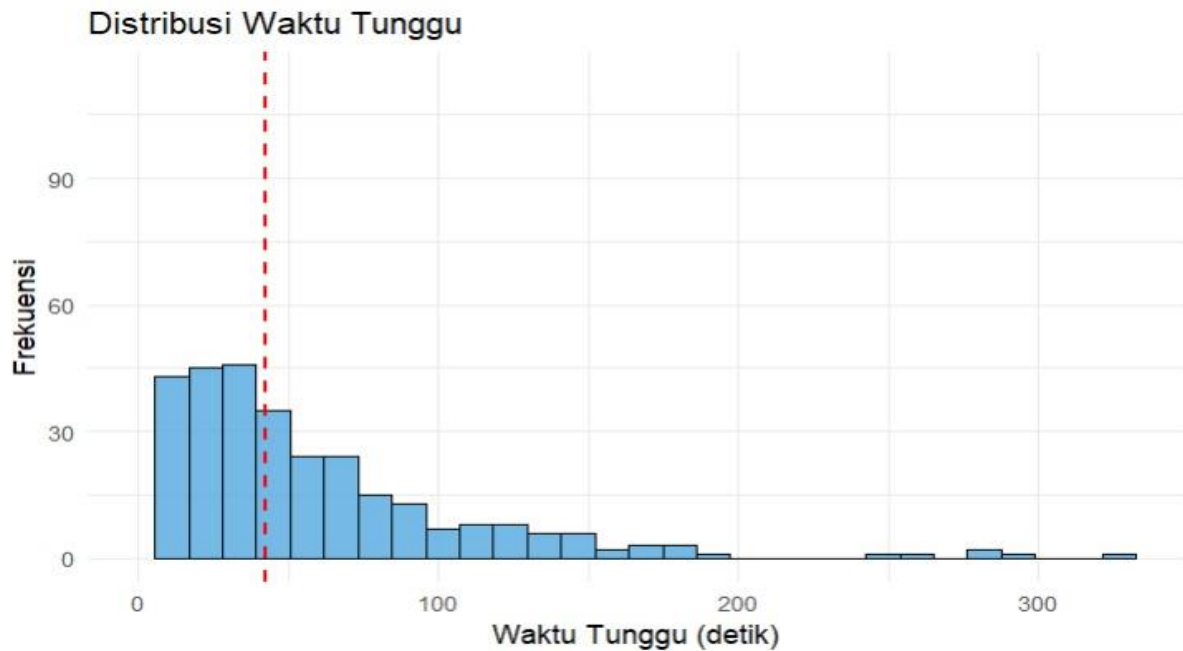
Variabel	Mean (detik)	Median (detik)	Std (detik)
Waktu Tunggu	42.337	29	51.348
Waktu Pelayanan	33.065	30	18.774
Waktu Total dalam Sistem	75.402	60	52.524

Waktu tunggu memiliki rata-rata 42.337 detik dengan median 29 detik dan simpangan baku 51.348 detik, menunjukkan distribusi yang *right-skewed* dan variasi yang tinggi karena sebagian kecil pelanggan mengalami tunggu yang jauh lebih lama. Sebaliknya, waktu pelayanan lebih stabil dengan mean 3.,065 detik, median 30 detik, dan simpangan baku 18.774 detik, menandakan distribusi yang lebih simetris dan proses pelayanan yang konsisten. Waktu total dalam sistem rata-ratanya 75.402 detik dengan median 60 detik serta simpangan baku 52.524 detik, mengindikasikan bahwa fluktuasi waktu tunggu sangat mempengaruhi lamanya pelanggan berada dalam sistem. Secara keseluruhan, variabilitas terbesar terdapat pada waktu tunggu sehingga upaya peningkatan performa layanan sebaiknya difokuskan pada pengelolaan antrian dan pengurangan waktu tunggu pelanggan.

4.3 Visualisasi Distribusi Variabel

4.3.1 Distribusi Waktu Tunggu

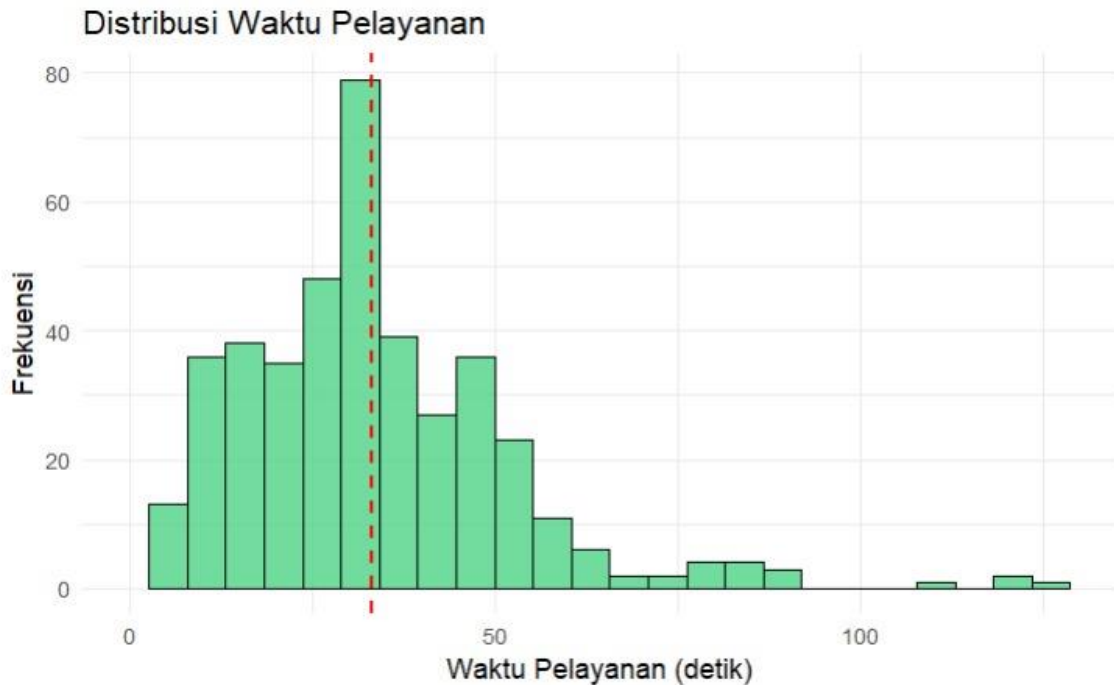
Distribusi waktu tunggu menunjukkan pola yang sangat condong ke kanan (*right-skewed*), di mana sebagian besar pelanggan mengalami waktu tunggu yang relatif singkat. Frekuensi tertinggi berada pada rentang 0–40 detik, menunjukkan bahwa mayoritas pelanggan tidak menunggu terlalu lama sebelum dilayani. Puncak distribusi berada di sekitar nilai rata-rata yang ditandai dengan garis vertikal merah, yakni sekitar 40 detik, yang memperlihatkan kecenderungan sistem untuk menjaga batas waktu tunggu. Meskipun demikian, terdapat beberapa nilai ekstrim (*outlier*) di atas 150 hingga lebih dari 300 detik, yang mengindikasikan bahwa pada kondisi tertentu terjadi penumpukan antrian yang menyebabkan sebagian kecil pelanggan menunggu jauh lebih lama. Pola distribusi ini konsisten dengan karakteristik sistem antrian pada beban dinamis, di mana variabilitas kedatangan dapat memicu ketidakseimbangan sementara antara kedatangan dan pelayanan. Distribusi diinterpretasikan pada gambar 4.3.1.



Gambar 4.3.1. Distribusi Waktu Tunggu

4.3.2 Distribusi Waktu Pelayanan

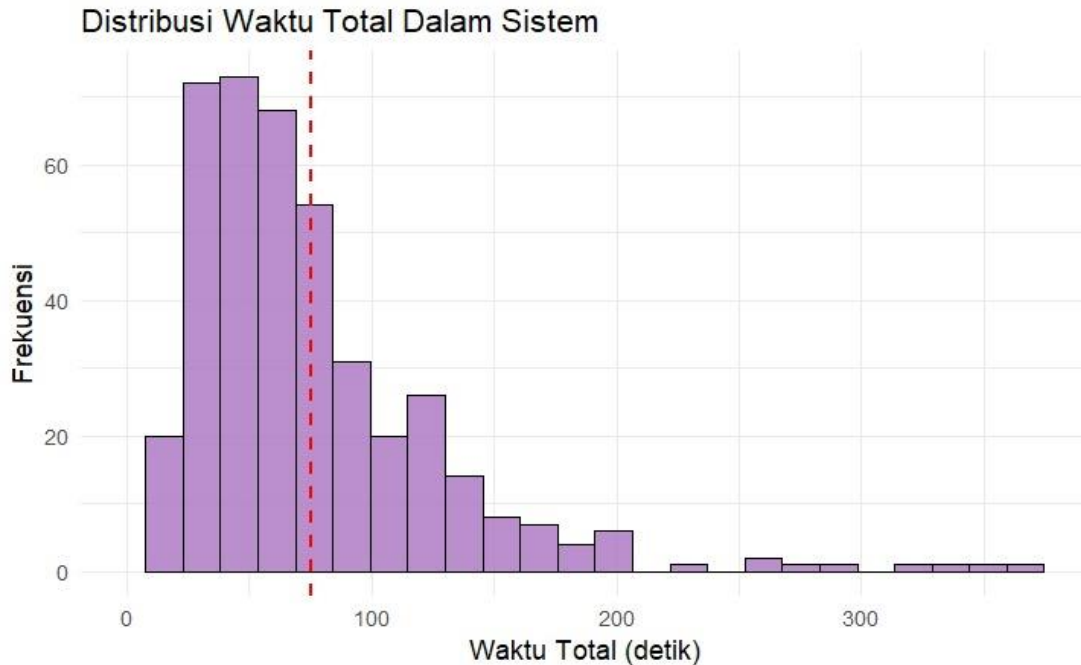
Distribusi waktu pelayanan (*service time*) tampak lebih terpusat dan simetris dibandingkan dengan waktu tunggu. Sebagian besar nilai berada pada rentang 20–50 detik, dengan frekuensi tertinggi tepat di sekitar nilai rata-rata yang ditandai dengan garis merah vertikal, yaitu kurang lebih 40 detik. Pola distribusi menunjukkan bahwa proses pelayanan berlangsung relatif stabil dan konsisten, tanpa variasi ekstrem yang signifikan. Meskipun terdapat beberapa nilai di atas 80 hingga mendekati 120 detik, jumlahnya sangat sedikit sehingga tidak memberikan pengaruh besar pada bentuk distribusi. Hal ini mengindikasikan bahwa sistem pelayanan bekerja dengan efisien dan terkontrol, di mana variasi waktu pelayanan tidak terlalu tinggi, serta sebagian besar interaksi layanan berlangsung pada durasi yang hampir seragam. Distribusi diinterpretasikan pada gambar 4.3.2.



Gambar 4.3.2. Distribusi Waktu Pelayanan

4.3.3 Distribusi Waktu Total dalam Sistem

Distribusi waktu total dalam sistem merupakan kombinasi dari waktu tunggu dan waktu pelayanan. Grafik menunjukkan pola distribusi yang kembali condong ke kanan, mencerminkan pengaruh kuat variabilitas waktu tunggu. Sebagian besar pelanggan memiliki waktu total dalam sistem pada rentang 40 hingga 120 detik, dengan puncak frekuensi yang berada sedikit di bawah rata-rata yang ditandai oleh garis merah vertikal (sekitar 80 detik). Rentang ini menunjukkan bahwa sebagian besar pelanggan menyelesaikan seluruh proses antrian dan pelayanan dalam waktu yang masih dapat diterima oleh sistem. Sama seperti distribusi waktu tunggu, terdapat ekor panjang (*long tail*) yang berisi nilai hingga lebih dari 300 detik, menandakan adanya kondisi anomali atau beban tinggi pada periode tertentu. *Long tail* ini juga memperjelas bahwa waktu tunggu adalah faktor utama yang menyebabkan ketidakstabilan durasi total dalam sistem, bukan waktu pelayanannya. Distribusi diinterpretasikan pada gambar 4.3.3.



Gambar 4.3.3. Distribusi Waktu Total Dalam Sistem

4.4 Perhitungan Parameter Dasar Sistem Antrian

Mulanya, analisis dilakukan dengan menghitung parameter dasar yang diperlukan pada model M/M/2, yaitu laju kedatangan (λ), laju pelayanan (μ), dan tingkat utilisasi server (ρ). Laju kedatangan dihitung dengan membagi total pelanggan (412 orang) dengan total waktu observasi selama tiga jam atau 10.800 detik. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai λ sebesar 0.03814815 pelanggan per detik, yang setara dengan sekitar 2,29 pelanggan per menit. Nilai ini menunjukkan bahwa arus kedatangan pelanggan pada periode sibuk terdistribusi relatif stabil. Selanjutnya, laju pelayanan μ diperoleh dengan menghitung rata-rata waktu pelayanan seluruh pelanggan, kemudian mengambil nilai inversnya. Dari perhitungan tersebut, μ sebesar 0.03024297 pelanggan per detik per kasir, yang berarti setiap kasir membutuhkan rata-rata sekitar 33 detik untuk menyelesaikan satu transaksi. Dengan dua kasir aktif, kapasitas pelayanan sistem menjadi dua kali dari nilai μ tersebut, sehingga mampu menangani beban pelayanan yang masuk.

Tingkat utilisasi sistem (ρ) dihitung menggunakan perbandingan antara laju kedatangan dan total kapasitas pelayanan dari dua kasir. Nilai ρ yang diperoleh sebesar 0.6306944, atau sekitar 63%. Nilai ini menunjukkan bahwa kedua kasir bekerja dalam tingkat kesibukan yang wajar atau dapat

dikatakan kasir tidak berada dalam kondisi *overload*, namun juga tidak terlalu banyak waktu menganggur. Kondisi seperti ini menggambarkan stabilitas sistem, sesuai kriteria model antrian di mana stabilitas tercapai bila $\rho < 1$. Dengan demikian, sistem layanan di Galeri 1 ITERA berada dalam kondisi yang efisien dan seimbang antara beban kedatangan dengan kapasitas pelayanan.

4.5 Hasil Perhitungan Model Antrian M/M/2

Setelah parameter dasar diperoleh, perhitungan karakteristik sistem antrian dilakukan menggunakan formula M/M/2. Hasilnya merangkum kondisi aktual sistem terkait panjang antrian, waktu tunggu, dan aktivitas server. Hasil tersebut terlampir pada tabel 4.5.

Tabel 4.5. Hasil perhitungan model antrian M/M/2

Komponen	Nilai	Interpretasi
Lq	0.8331603 pelanggan	Rata-rata antrian < 1 orang
Ls	2.094549 pelanggan	~2 pelanggan dalam sistem
Wq	21.84 detik	Waktu tunggu yang rendah
Ws	54.91 detik	Total waktu dalam sistem
P0	0.2264713	Sistem kosong 22.6% waktu

Nilai Lq yang kurang dari satu menunjukkan bahwa antrian hampir tidak pernah terlihat secara fisik. Dengan Ls sekitar dua orang, kedua kasir hampir selalu aktif melayani. Pelanggan hanya menunggu rata-rata 21–22 detik sebelum dilayani, dengan total waktu kurang dari satu menit. Karena P0 masih cukup tinggi (22,6%), sistem memiliki kapasitas lebih dari cukup untuk menangani beban kedatangan.

4.6 Pembahasan

Nilai *traffic intensity* (ρ) yang berada di bawah 1 menunjukkan bahwa laju kedatangan pelanggan masih dapat ditangani oleh kemampuan pelayanan sistem. Kondisi $\rho < 1$ ini menandakan bahwa proses antrian berada dalam keadaan stabil, karena server tidak kewalahan dan kapasitas pelayanan

masih cukup untuk menyelesaikan antrian yang terbentuk. Dengan kata lain, antrian tidak akan terus bertambah dari waktu ke waktu dan sistem dapat mencapai kondisi *steady-state*.

Temuan ini konsisten dengan pola yang terlihat pada hasil statistika deskriptif. Waktu tunggu memiliki variasi yang cukup besar meskipun rata-rata waktu pelayanan relatif stabil dan lebih terkontrol. Artinya, fluktuasi waktu tunggu lebih dipengaruhi oleh dinamika jumlah kedatangan daripada keterbatasan server. Pada saat terjadi lonjakan kedatangan secara tiba-tiba, waktu tunggu memang dapat meningkat, namun karena $\rho < 1$, sistem memiliki kemampuan untuk kembali normal dan mereduksi antrian tersebut dalam waktu yang wajar.

Sementara itu, total waktu dalam sistem juga menunjukkan variasi yang tinggi yang mayoritas disebabkan oleh fluktuasi waktu tunggu. Kondisi ini menggambarkan bahwa meskipun server bekerja secara konsisten, beban sistem sangat sensitif terhadap keramaian pada jam tertentu. Namun sekali lagi, stabilitas sistem memastikan tidak terjadi penumpukan permanen karena kapasitas pelayanan masih lebih besar dari tingkat kedatangan rata-rata.

Secara keseluruhan, hasil ini menegaskan bahwa performa layanan secara struktural sudah stabil, dan perbaikan sebaiknya difokuskan pada manajemen arus kedatangan serta pengendalian waktu tunggu. Intervensi seperti penataan alur antrian, pengelolaan jam sibuk, atau peningkatan efisiensi administratif dapat memberikan dampak lebih besar dibanding intervensi pada proses pelayanan yang sebenarnya sudah cukup konsisten.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan setelah menerapkan model antrian M/M/2 pada layanan Galeri 1 ITERA, kesimpulan yang dapat diambil adalah sistem antrian selama periode jam sibuk berada dalam kondisi stabil dan efisien. Tingkat kedatangan pelanggan berada pada rata-rata sekitar 2,29 pelanggan per menit, sementara tingkat pelayanan per kasir menunjukkan kemampuan melayani satu pelanggan sekitar 30-an detik. Nilai utilisasi sistem sebesar 0,63 memberi arti bahwa dua kasir mampu menangani beban kedatangan tanpa mengalami *overload*. Parameter kinerja sistem seperti panjang antrian rata-rata yang kurang dari satu orang, waktu tunggu sekitar 21 detik, serta total waktu pelanggan berada dalam sistem yang masih berada di bawah satu menit, menegaskan bahwa kapasitas pelayanan saat ini sudah memadai. Hasil penelitian ini memberikan hasil bahwa jumlah kasir yang beroperasi saat ini sudah optimal, dan ketidakstabilan durasi proses lebih dipengaruhi oleh lonjakan kedatangan pelanggan daripada keterbatasan kinerja kasir.

5.2 Saran

Terdapat beberapa saran yang dapat diberikan untuk menjaga dan meningkatkan efisiensi operasional sistem antrian. Jumlah kasir sebanyak dua orang sebaiknya tetap dipertahankan pada jam sibuk karena sudah terbukti optimal dalam menjaga kestabilan sistem. Oleh karena itu, kontrol terhadap arus kedatangan penting dilakukan karena sedikit peningkatan jumlah pelanggan akan langsung memengaruhi waktu tunggu dan total waktu dalam sistem. Pengaturan alur antrean, edukasi pelanggan terkait jam layanan yang lebih lenggang, serta peningkatan kelancaran proses administratif dapat membantu mengurangi ketidakaturan waktu tunggu. Pemantauan data antrian secara rutin juga penting dilakukan untuk mengantisipasi perubahan pola kedatangan pada hari-hari khusus atau saat kegiatan kampus meningkat. Dengan stabilitas sistem yang terpelihara dan manajemen kedatangan yang ditingkatkan, Galeri 1 ITERA diharapkan mampu memberikan pelayanan yang lebih cepat, efektif, dan nyaman.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. P. H. Putra, S. Defit and Sumijan, "Analisis Sistem Antrian dalam Meningkatkan Efektivitas Pelayanan Menggunakan Metode Accidental Sampling," *Jurnal Sistim Informasi dan Teknologi*, vol. 4, pp. 70-75, 2022.
- [2] F. D. Hanggara and R. D. E. Putra, "ANALISIS SISTEM ANTRIAN PELANGGAN SPBU DENGAN PENDEKATAN SIMULASI ARENA," *Jurnal INTECH Teknik Industri Universitas Serang Raya*, vol. 2, pp. 155-162, 2020.
- [3] M. Ary, "ANALISIS MODEL SISTEM ANTRIAN PADA PELAYANAN ADMINISTRASI," *Jurnal Tekno Insentif*, vol. 13, pp. 9-15, 2019.
- [4] Y. Yusnita and S. Marsa, "ANALISIS TEORI ANTRIAN DAN PELAYANAN PADA RESTORAN CEPAT SAJI RICHEESE DI BENCOLEN MALL KOTA BENGKULU," *Journal of Management and Innovation Entrepreneursip (JMIE)*, vol. 2, 2024.
- [5] S. Anisah, Sugito and Suparti, "ANALISIS ANTRIAN DALAM OPTIMALISASI SISTEM PELAYANAN KERETA API DI STASIUN PURWOSARI DAN SOLO BALAPAN," *JURNAL GAUSSIAN*, vol. 4, pp. 669-677, 2015.
- [6] F. Arwindy, F. Buulolo and E. Rosmaini, "ANALISIS DAN SIMULASI SISTEM ANTRIAN PADA BANK ABC," *Saintia Matematika*, vol. 2, no. 2337-9197, pp. 147-162, 2014.
- [7] B. L. Bataona and A. E. Nyoko, "ANALISIS SISTEM ANTRIAN DALAM OPTIMALISASI LAYANAN DI SUPERMARKET HYPERSTORE," *JOURNAL OF MANAGEMENT (SME's)*, vol. 12, pp. 225-237, 2020.
- [8] M. T. Ardianti, S. F. Dewanti, M. J. A. Iqsan, R. P. Wicaksono and A. D. Limantara, "OPTIMALISASI ANTRIAN DAN WAKTU TUNGGU KANTIN PROMISE UNP

DENGAN TEORI ANTRIAN UNTUK EFISIENSI OPERASIONAL," *SIMANIS*, vol. 4, no. 2962-2050, pp. 1531-1538, 2025.

- [9] B. H. Purnomo, B. Suryadharma and N. Y. Ekasari, "MODEL SISTEM ANTRIAN PADA PELAYANAN RESTORAN CEPAT SAJI (Studi Kasus di KFC Gajah Mada Kabupaten Jember," *Jurnal Agroteknologi*, vol. 15, pp. 40-58, 2021.
- [10] D. Rianti, U. Mukhaiyar and L. Mardianto, "Analisis Sistem Antrian pada Pelayanan Help Desk," *Indonesian Journal of Applied Mathematics*, vol. 2, no. 2274-2067, 2022.
- [11] Tumini and A. Minatania, "VISUALISASI DATA COVID19 TAHUN 2021 DI JAWA BARAT MENGGUNAKAN GOOGLE DATA STUDIO," *Jurnal Informasi dan Komputer*, vol. 11, no. 2623-1247, pp. 44-51, 2023.