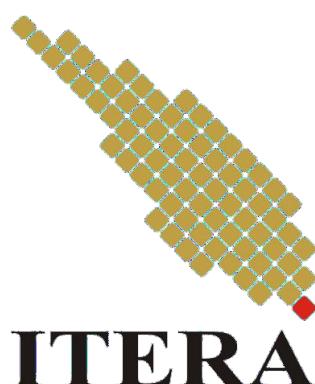


**Analisis Sistem Antrian Pembelian di Kantin Gedung
Kuliah Umum 2 (GKU-2) Institut Teknologi Sumatera
Menggunakan Model M/M/1 untuk Optimasi Waktu
Tunggu**

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



**-122450
- 122450
- 122450
- 122**

**Program Studi Sains Data
Fakultas Sains
Institut Teknologi Sumatera
2025**

Abstrak

Kantin Gedung Kuliah Umum 2 (GKU-2) Institut Teknologi Sumatera (ITERA) merupakan fasilitas penunjang vital yang melayani kebutuhan konsumsi ribuan mahasiswa di sela jadwal perkuliahan yang padat. Tingginya volume kedatangan pelanggan yang fluktuatif, terutama pada jam-jam sibuk (peak hours), sering kali menyebabkan terjadinya penumpukan antrian (bottleneck) yang berdampak negatif terhadap kenyamanan, efisiensi waktu istirahat mahasiswa, dan potensi kerugian pendapatan akibat pembatalan pesanan (balking). Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja sistem antrian eksisting, menguji stabilitas sistem, serta menentukan konfigurasi jumlah server yang optimal. Metode penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif dengan Teori Antrian. Analisis awal menggunakan model Single Channel Single Phase ($M/M/1$) menunjukkan bahwa sistem eksisting mengalami kegagalan (overload) dengan tingkat utilitas (ρ) mencapai 118,1%, di mana laju kedatangan rata-rata ($\lambda = 39,8$ pelanggan/jam) melampaui kapasitas pelayanan ($\lambda = 33,7$ pelanggan/jam). Kondisi ini menyebabkan antrian tumbuh tanpa batas. Oleh karena itu, dilakukan simulasi perbaikan menggunakan model Multi-Channel Single Phase ($M/M/c$) dengan skenario penambahan menjadi dua server ($c=2$). Hasil perhitungan model $M/M/2$ menunjukkan perbaikan kinerja yang signifikan. Tingkat utilitas sistem turun drastis menjadi 59,05%, yang mengindikasikan sistem berada dalam kondisi stabil (steady state). Rata-rata waktu tunggu pelanggan dalam antrian (W_q) berhasil direduksi menjadi 0,95 menit (57 detik), dan rata-rata waktu total dalam sistem (W_s) menjadi 2,73 menit. Probabilitas server menganggur (P_0) tercatat sebesar 25,74%, memberikan ruang yang cukup bagi petugas untuk istirahat bergantian tanpa mengganggu layanan. Penelitian ini merekomendasikan manajemen Kantin GKU-2 untuk menerapkan sistem dua kasir terutama pada jam sibuk (09.00-12.00 WIB) guna menjamin kelancaran operasional dan kepuasan pelanggan.

Kata kunci: Analisis Antrian, Kantin GKU-2 ITERA, Model $M/M/1$, Optimasi Layanan, Waktu Tunggu, Studi Kasus Kampus.

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Fasilitas kantin di lingkungan perguruan tinggi memegang peranan yang sangat vital, tidak hanya sebagai tempat pemenuhan kebutuhan konsumsi, tetapi juga sebagai ruang interaksi sosial yang mendukung aktivitas akademik mahasiswa. Efisiensi pelayanan di kantin menjadi faktor krusial karena waktu istirahat mahasiswa yang terbatas di sela-sela jadwal perkuliahan yang padat. Keterlambatan dalam pelayanan akibat sistem antrian yang buruk dapat menimbulkan dampak negatif, mulai dari ketidaknyamanan, hilangnya waktu produktif, hingga menurunnya tingkat kepuasan civitas akademika terhadap fasilitas kampus [1]. Oleh karena itu, manajemen operasional kantin dituntut untuk memiliki mekanisme pelayanan yang responsif dan mampu menangani fluktuasi permintaan, terutama pada jam-jam sibuk.

Salah satu fasilitas di Institut Teknologi Sumatera (ITERA), Kantin Gedung Kuliah Umum 2 (GKU-2) teridentifikasi sebagai salah satu lokasi dengan tingkat kepadatan yang sering mengalami masalah antrian panjang (bottleneck). Berdasarkan observasi awal, terjadi ketidakseimbangan yang signifikan antara laju kedatangan pelanggan yang sangat tinggi dibandingkan dengan kapasitas pelayanan yang tersedia, sehingga menyebabkan kondisi overload pada sistem. Studi literatur menunjukkan bahwa pelanggan sangat sensitif terhadap waktu tunggu, sistem yang tidak efisien dapat mendorong perilaku balking atau meninggalkan antrian, yang pada akhirnya merugikan operasional kampus secara keseluruhan. Fenomena penumpukan antrian ini mengindikasikan bahwa kapasitas server tunggal yang diterapkan saat ini tidak lagi memadai untuk mengakomodasi permintaan yang bersifat stokastik dan berfluktuasi sepanjang hari operasional [2].

Mengatasi permasalahan inefisiensi tersebut, pendekatan kuantitatif menggunakan teori antrian (queueing theory) diperlukan guna menganalisis karakteristik sistem dan merancang strategi perbaikan yang terukur. Salah satu model fundamental yang relevan untuk diterapkan adalah model M/M/1, yang mengasumsikan pola kedatangan berdistribusi Poisson dan waktu pelayanan berdistribusi eksponensial. Model ini menyediakan kerangka analitik untuk menghitung ukuran kinerja sistem berfokus analisis tidak hanya pada pemodelan, tetapi juga pada konsep stabilitas sistem. Sebuah sistem dikatakan stabil hanya jika faktor utilisasi kurang dari 1. Jika melebihi, antrian akan tumbuh tanpa batas, sehingga dapat mendeteksi ketidakstabilan sistem secara presisi [3]. Pemahaman mendalam mengenai parameter-parameter ini menjadi landasan penting dalam pengambilan keputusan manajerial terkait alokasi sumber daya. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan mengidentifikasi kondisi

stabilitas sistem saat ini dan menghitung kapasitas tambahan yang mutlak diperlukan untuk mencapai keseimbangan.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja sistem antrian di Kantin GKU-2 ITERA dan memberikan rekomendasi optimasi melalui simulasi penambahan kapasitas pelayanan. Analisis tidak hanya terbatas pada evaluasi kondisi eksisting, tetapi juga melakukan komparasi skenario multi-server ($M/M/c$) untuk menentukan konfigurasi optimal yang dapat menstabilkan sistem. Analisis ini juga diintegrasikan dengan pemetaan jam sibuk (peak hours) untuk merancang strategi manajemen kapasitas dinamis, di mana jumlah server dapat disesuaikan secara adaptif mengikuti fluktuasi permintaan harian. Dengan mengidentifikasi jumlah server yang ideal, penelitian ini diharapkan dapat memberikan solusi praktis untuk meminimalkan waktu tunggu mahasiswa sekaligus meningkatkan efisiensi operasional kantin secara berkelanjutan [4].

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana kinerja sistem antrian di Kantin GKU-2 ITERA saat ini ditinjau dari parameter laju kedatangan (λ), laju pelayanan (μ), dan faktor utilisasi (ρ) menggunakan model $M/M/1$
2. Berapakah jumlah server optimal yang diperlukan untuk menstabilkan sistem dan meminimalkan waktu tunggu pelanggan berdasarkan simulasi skenario multi-server ($M/M/c$)?
3. Strategi manajerial apa yang direkomendasikan untuk meningkatkan efisiensi operasional kantin berdasarkan analisis pola kedatangan pada jam sibuk (peak hours)?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengevaluasi kinerja operasional sistem antrian eksisting di Kantin GKU-2 ITERA dengan mengukur parameter sistem dan tingkat stabilitas layanan saat ini.
2. Menentukan konfigurasi jumlah server yang paling optimal melalui simulasi model $M/M/c$ guna mencapai keseimbangan antara kualitas layanan (waktu tunggu rendah) dan efisiensi sumber daya.
3. Merumuskan rekomendasi strategis bagi manajemen kantin terkait pengaturan kapasitas dan manajemen operasional untuk mengatasi fluktuasi permintaan pelanggan.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat yang signifikan bagi berbagai pihak, yaitu:

1. Manfaat Teoritis : Memberikan kontribusi empiris pada literatur teori antrian, khususnya dalam penerapan model M/M/1 dan M/M/c pada studi kasus fasilitas layanan makanan di lingkungan kampus yang masih relatif terbatas di Indonesia dan menyediakan bukti mengenai aplikasi berbasis pendekatan simulasi komparatif berbagai konfigurasi server sebagai metode yang efektif untuk analisis sistem pelayanan publik
2. Manfaat Praktis : Hasil analisis ini memberikan landasan kuantitatif yang objektif untuk pengambilan keputusan terkait investasi penambahan kapasitas layanan maupun perbaikan infrastruktur kantin. Untuk Mahasiswa implementasi dari rekomendasi penelitian ini berpotensi mengurangi waktu tunggu secara signifikan, sehingga meningkatkan kenyamanan dan kepuasan mahasiswa dalam memanfaatkan waktu istirahat serta untuk operator memberikan panduan operasional mengenai pola jam sibuk, sehingga operator dapat mengatur jadwal petugas (shift) secara lebih efisien dan adaptif terhadap lonjakan pengunjung.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Sistem Antrian

Teori antrian (queueing theory) merupakan studi matematis tentang sistem antrian yang pertama kali dikembangkan oleh A.K. Erlang pada awal abad ke-20 untuk menganalisis sistem telekomunikasi. Sejak itu, teori ini telah berkembang menjadi alat analisis yang sangat penting dalam berbagai bidang, termasuk manufaktur, transportasi, layanan kesehatan, dan sistem pelayanan publik. Dalam konteks modern, teori antrian menjadi bagian integral dari disiplin ilmu manajemen operasi dan teknik industri[5].

Secara fundamental, sistem antrian terdiri dari tiga komponen utama: proses kedatangan, mekanisme pelayanan, dan disiplin antrian. Proses kedatangan menggambarkan bagaimana pelanggan memasuki sistem, yang umumnya dikarakterisasi oleh distribusi probabilitas waktu antar-kedatangan. Mekanisme pelayanan mencakup jumlah server, kecepatan pelayanan, dan distribusi waktu pelayanan. Disiplin antrian menentukan urutan pelayanan pelanggan, seperti First-Come-First-Served (FCFS) atau prioritas tertentu[6].

Model antrian dapat diklasifikasikan menggunakan notasi Kendall, yang dinyatakan dalam format A/B/c/K/N/D, di mana A adalah distribusi waktu antar-kedatangan, B adalah distribusi waktu pelayanan, c adalah jumlah server, K adalah kapasitas sistem, N adalah ukuran populasi sumber, dan D adalah disiplin antrian. Notasi M menunjukkan distribusi Markovian (eksponensial atau Poisson), G menunjukkan distribusi umum (general), dan D menunjukkan waktu deterministik[7].

2.2 Komponen Sistem Antrian

Sistem antrian terdiri atas beberapa komponen utama yang membentuk alur pelayanan mulai dari kedatangan hingga pelayanan selesai. Setiap komponen saling berinteraksi dan berkontribusi terhadap efisiensi sistem secara keseluruhan. Dalam konteks penelitian ini, sistem antrian pembelian makanan dan minuman di Kantin Gedung Kuliah Umum 2 (GKU-2) ITERA dimodelkan menggunakan pendekatan notasi Kendall M/M/1, yang merepresentasikan kedatangan Markovian (Poisson), waktu pelayanan Markovian (Eksponensial), dan satu pelayan (single server). Komponen-komponen utamanya dijelaskan sebagai berikut.

1. Kedatangan (*Arrival Process*)

Proses kedatangan menggambarkan pola waktu pelanggan (mahasiswa) tiba di lokasi kantin untuk melakukan pembelian. Dalam model M/M/1, pola kedatangan diasumsikan mengikuti distribusi Poisson (M), di mana kedatangan terjadi secara acak dan independen satu sama lain. Pada studi kasus di Kantin GKU-2, kedatangan pelanggan umumnya dipengaruhi oleh jadwal pergantian jam kuliah dan waktu istirahat, sehingga kedatangan sering kali terjadi secara berkelompok namun tetap bersifat stokastik (acak) dalam interval waktu tertentu. Karakteristik ini sesuai dengan asumsi dasar distribusi Poisson yang digunakan dalam teori antrian.

2. Pelayanan (*Service Mechanism*)

Mekanisme pelayanan mencakup proses transaksi yang dilakukan oleh server (kasir) kepada pelanggan, mulai dari pemesanan hingga pembayaran. Waktu pelayanan dalam sistem ini diasumsikan mengikuti distribusi eksponensial (M), yang berarti durasi pelayanan tidak tetap dan bervariasi antar pelanggan. Variabilitas ini terjadi karena perbedaan jumlah item yang dipesan, metode pembayaran (tunai atau non-tunai), serta kecepatan interaksi antara kasir dan pelanggan. Model distribusi eksponensial digunakan untuk mendekati karakteristik waktu pelayanan yang bersifat memoryless tersebut.

3. Antrian (*Queue Discipline*)

Disiplin antrian adalah aturan yang menentukan urutan pelayan bagi pelanggan yang menunggu. Pada sistem antrian di Kantin GKU-2, prinsip yang diterapkan adalah First-Come First-Served (FCFS) atau First-In First-Out (FIFO). Dalam mekanisme ini, mahasiswa yang tiba lebih awal akan mendapatkan hak untuk dilayani terlebih dahulu oleh kasir tanpa adanya prioritas khusus. Pelanggan yang datang saat kasir sedang sibuk akan membentuk satu barisan antrian linear hingga server tersedia kembali.

4. Kapasitas Sistem (*System Capacity*)

Kapasitas sistem menggambarkan jumlah maksimum pelanggan yang diperbolehkan berada dalam sistem (baik yang sedang dilayani maupun yang mengantri). Dalam pemodelan antrian ini, kapasitas sistem diasumsikan tak terbatas atau *infinity*. Meskipun secara fisik area kantin memiliki batasan ruang, dalam model matematika M/M/1, diasumsikan bahwa setiap pelanggan yang datang tetap dapat memasuki sistem dan bergabung dalam antrian berapapun panjangnya, tanpa adanya penolakan masuk karena kapasitas penuh

5. Jumlah Server (*Number of Servers*)

Komponen ini menunjukkan jumlah fasilitas pelayanan yang tersedia secara paralel. Berdasarkan kondisi operasional saat ini, Kantin GKU-2 hanya mengoperasikan satu buah kasir utama untuk melayani transaksi, sehingga sistem ini dikategorikan sebagai single server ($c = 1$). Keterbatasan pada komponen server inilah yang menjadi fokus analisis model M/M/1, di mana seluruh beban kedatangan pelanggan harus ditangani oleh satu titik pelayanan, yang berpotensi menciptakan titik kemacetan (bottleneck) pada sistem.

2.3 Model M/M/1

Model M/M/1 merupakan model antrian paling fundamental dan banyak dipelajari dalam literatur teori antrian. Model ini menggambarkan sistem dengan karakteristik berupa kedatangan pelanggan mengikuti proses Poisson dengan laju λ , waktu pelayanan terdistribusi eksponensial dengan laju μ , terdapat satu server tunggal, kapasitas sistem tidak terbatas, populasi sumber tidak terbatas, dan disiplin antrian mengikuti FCFS[8].

Asumsi distribusi Poisson untuk kedatangan berarti bahwa probabilitas k kedatangan dalam interval waktu t diberikan dengan rumus:

$$P(N(t) = k) = \frac{(\lambda t)^k e^{-\lambda t}}{k!}$$

Asumsi ini sesuai untuk situasi di mana kedatangan bersifat acak dan independen, yang umum terjadi dalam sistem pelayanan publik. Waktu antar-kedatangan dalam proses Poisson terdistribusi eksponensial dengan rata-rata $1/\lambda$. Asumsi distribusi eksponensial untuk waktu pelayanan dengan parameter μ berarti bahwa probabilitas waktu pelayanan kurang dari atau sama dengan t adalah:

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

Rata-rata waktu pelayanan adalah $1/\mu$, dan sifat memoryless dari distribusi eksponensial membuat analisis sistem menjadi lebih terurut.

2.4 Ukuran Kinerja Sistem

Perhitungan sistem antrian M/M/1 terdapat beberapa ukuran kinerja yang digunakan untuk menilai efisiensi dan stabilitas sistem. Ukuran-ukuran ini didasarkan pada hubungan antara laju kedatangan pelanggan (λ) dan laju pelayanan (μ) sebagai berikut [9].

1. Rata-rata jumlah pelanggan dalam sistem (L_s)

L_s merupakan rata-rata jumlah pelanggan yang berada dalam sistem (sedang dilayani atau menunggu dalam antrian):

$$L_s = \frac{\lambda}{\mu-\lambda}$$

Formula ini menunjukkan bahwa ketika ρ mendekati 1, jumlah pelanggan dalam sistem akan meningkat secara drastis

2. Rata-rata waktu yang dihabiskan dalam sistem (W_s)

W_s merupakan rata-rata waktu total yang dihabiskan pelanggan dalam sistem (waktu tunggu ditambah waktu pelayanan):

$$W_s = \frac{1}{\mu-\lambda}$$

Waktu ini sangat penting dari perspektif kepuasan pelanggan.

3. Rata-rata jumlah pelanggan yang menunggu dalam antrian (L_q)

L_q merupakan rata-rata jumlah pelanggan yang menunggu dalam antrian (tidak termasuk yang sedang dilayani):

$$L_q = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu-\lambda)}$$

Parameter ini mengukur seberapa banyak pelanggan yang harus menunggu sebelum mendapat pelayanan

4. Rata-rata waktu tunggu dalam antrian (Wq)

Wq merupakan rata-rata waktu yang dihabiskan pelanggan untuk menunggu dalam antrian sebelum dilayani:

$$W_q = \frac{\lambda}{\mu(\mu-\lambda)}$$

Waktu tunggu ini sering menjadi indikator utama kualitas layanan

5. Probabilitas tidak ada pelanggan dalam sistem (P₀)

Probabilitas bahwa tidak ada pelanggan dalam sistem diberikan oleh:

$$P_0 = 1 - \frac{\lambda}{\mu}$$

Nilai ini menunjukkan proporsi waktu di mana server menganggur.

6. Faktor utilisasi sistem

Faktor utilisasi atau intensitas lalu lintas didefinisikan sebagai:

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu}$$

Parameter ini mengukur proporsi waktu dimana server sibuk melayani pelanggan. Sistem dikatakan stabil jika dan hanya jika $\rho < 1$, yang berarti laju pelayanan harus lebih besar dari laju kedatangan. Ketika $\rho \geq 1$, sistem menjadi tidak stabil dan antrian akan tumbuh tanpa batas

2.5 Hukum Little (Little's Law)

Salah satu hasil fundamental dalam teori antrian adalah Hukum Little, yang menyatakan hubungan sederhana namun powerful antara ukuran-ukuran kinerja sistem:

$$L = \lambda W$$

Di mana L adalah rata-rata jumlah pelanggan dalam sistem atau antrian, λ adalah laju kedatangan, dan W adalah rata-rata waktu yang dihabiskan dalam sistem atau antrian. Hukum ini berlaku sangat umum, tidak bergantung pada distribusi kedatangan atau pelayanan, selama sistem berada dalam kondisi steady-state. Dalam konteks M/M/1, Hukum Little memberikan hubungan:

$$L_s = \lambda W_s$$

$$L_q = \lambda W_q$$

Hubungan ini memungkinkan kita menghitung satu ukuran kinerja dari ukuran lainnya[10].

2.6 Model Multi-Server (M/M/c)

Ketika satu server tidak cukup untuk menangani permintaan, sistem dapat diperluas menjadi model M/M/c dengan c server paralel. Dalam model ini, pelanggan yang datang akan dilayani oleh server pertama yang tersedia, dan jika semua server sibuk, pelanggan akan menunggu dalam satu antrian bersama[11].

Faktor utilisasi untuk sistem M/M/c adalah:

$$\rho = \frac{\lambda}{c\mu}$$

Sistem stabil jika $\rho < 1$, yang berarti laju kedatangan harus lebih kecil dari total kapasitas pelayanan semua server. Probabilitas sistem kosong (P_0) untuk M/M/c dihitung dengan formula yang lebih kompleks.

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

Rata-rata jumlah pelanggan dalam antrian untuk M/M/c adalah:

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

Ukuran kinerja lainnya dapat diturunkan menggunakan Hukum Little.

$$L_s = L_q + \lambda/\mu$$

$$W_q = \frac{L_q}{\lambda}$$

$$W_s = W_q + 1/\mu$$

3. Metodologi

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif dengan metode analisis matematis berbasis teori antrian. Pendekatan kuantitatif dipilih karena memungkinkan pengukuran objektif terhadap parameter sistem dan evaluasi kinerja berdasarkan indikator numerik yang terstandarisasi. Sifat deskriptif penelitian ini tercermin dalam upaya untuk menggambarkan karakteristik sistem antrian yang ada dan mengidentifikasi pola-pola empiris berdasarkan data observasi. Penelitian ini juga bersifat studi kasus (case study) yang fokus pada sistem antrian di Kantin GKU-2 ITERA. Meskipun temuan spesifik terbatas pada konteks penelitian, metodologi dan kerangka analisis yang dikembangkan dapat digeneralisasi untuk aplikasi di kantin-kantin kampus lain dengan karakteristik serupa

3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di Kantin Gedung Kuliah Umum 2 (GKU-2) Institut Teknologi Sumatera (ITERA), Lampung Selatan. Kantin ini dipilih sebagai objek penelitian karena merupakan salah satu kantin tersibuk di kampus ITERA yang melayani mahasiswa dari berbagai program studi. Pengumpulan data dilakukan selama jam operasional kantin, yaitu dari pukul 07:00 hingga 16:59, untuk menangkap variasi pola kedatangan sepanjang hari kerja normal dengan batasan hanya melakukan pengamatan pada satu hari saja untuk mengurangi variabel pengaruh hari di dalamnya

3.2 Jenis dan Sumber Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data primer yang dikumpulkan melalui observasi langsung terhadap sistem antrian di Kantin GKU-2. Data primer mencakup:

- 1) Jumlah kedatangan pelanggan per jam dimana mencatat setiap pelanggan yang memasuki area kantin untuk membeli makanan atau minuman. setiap pelanggan yang datang sudah menggambarkan kejadian sebuah antrian karena melibatkan perhitungan dari hasil pembelian dan skema pembayaran yang sudah dipilih.
- 2) Jumlah pelanggan yang selesai dilayani per jam mencatat jumlah pelanggan yang telah menyelesaikan transaksi pembelian dan meninggalkan server. Menggambarkan pelayanan yang selesai dikerjakan oleh kasir.

Data dikumpulkan dengan menggunakan metode tally counter otomatis dari “Google Spreadsheet” dan lembar observasi terstruktur untuk memastikan akurasi dan konsistensi pencatatan. Periode observasi dibagi menjadi 10 slot waktu berdurasi satu jam dari jam 07:00 hingga 16:59.

3.3 Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan berbagai tahapan. Tahap pertama yaitu persiapan berupa Menyiapkan formulir observasi terstruktur yang mencakup kolom untuk jam observasi, jumlah kedatangan dan jumlah yang selesai dilayani. Selanjutnya melakukan uji coba observasi untuk memastikan prosedur pencatatan berjalan dengan baik dan melatih observer untuk memahami definisi operasional setiap variabel.

Tahap berikutnya yaitu pelaksanaan observasi dimana menempatkan observer pada posisi strategis yang memungkinkan pengamatan terhadap pintu masuk kantin dan area kasir.

Lalu mencatat setiap kedatangan pelanggan selama periode satu jam dan mencatat jumlah pelanggan yang berhasil menyelesaikan transaksi selama periode tersebut.

Tahap terakhir yaitu validasi dimana Melakukan cross-checking data untuk memastikan konsistensi mengidentifikasi dan mengatasi data outlier atau anomali dan menyusun data dalam format tabulasi untuk analisis selanjutnya

3.4 Variabel yang Diamati

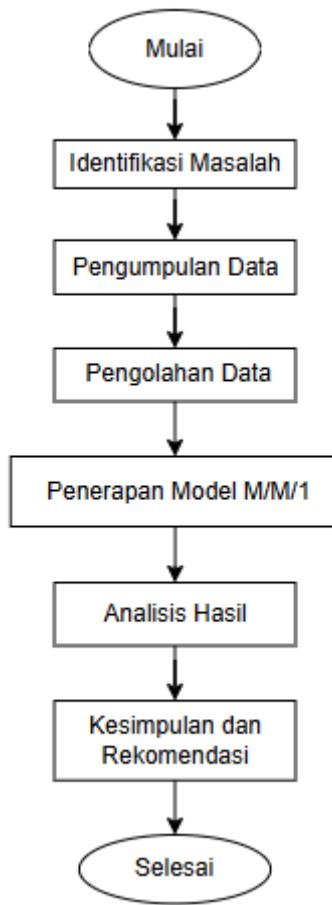
Penelitian ini menggunakan beberapa variabel utama untuk menggambarkan kinerja sistem antrian pada kantin di gedung kuliah. Variabel λ (lambda) menunjukkan rata-rata kedatangan pelanggan per jam, sedangkan μ (μ) merepresentasikan rata-rata jumlah pelanggan yang dapat dilayani pada periode yang sama. Variabel c menggambarkan jumlah server yang diamati. Selain itu, ukuran kinerja sistem meliputi L_q (rata-rata pelanggan yang menunggu dalam antrian), L_s (rata-rata pelanggan dalam sistem), W_q (waktu tunggu rata-rata), dan W_s (total waktu rata-rata dalam sistem). Seluruh variabel dihitung menggunakan model antrian M/M/1, dengan tujuan menilai efisiensi pelayanan, tingkat kepadatan, serta potensi keterlambatan dalam proses absensi dosen. Formula-formula ini hanya valid ketika sistem stabil ($\rho < 1$). Jika $\rho \geq 1$, sistem tidak stabil dan memerlukan analisis alternatif yaitu M/M/c.

3.5 Analisis Jam Sibuk

Analisis temporal dilakukan untuk mengidentifikasi jam-jam dengan kedatangan tertinggi dan antrian terpanjang. Identifikasi jam sibuk penting untuk strategi manajemen kapasitas dinamis. Analisis ini meliputi perankingan periode waktu berdasarkan jumlah kedatangan , identifikasi pola fluktuasi permintaan sepanjang hari dan perhitungan rasio utilisasi per jam untuk setiap periode

3.6 Diagram Alir Penelitian

Proses penelitian ini disusun secara sistematis untuk menggambarkan alur kerja dari tahap awal hingga akhir analisis. Diagram alir pada Gambar 3.1 menunjukkan tahapan pelaksanaan penelitian yang meliputi identifikasi masalah, pengumpulan data, pengolahan data, penerapan model antrian M/M/1, analisis hasil, serta penarikan kesimpulan dan rekomendasi. Setiap tahapan saling berkaitan secara logis guna memastikan hasil penelitian dapat memberikan gambaran yang akurat mengenai efisiensi sistem antrian kantin di lingkungan kampus terkhusus pada Gedung kuliah Umum 2 (GKU 2) Institut Teknologi Sumatera (ITERA).



Gambar 3.1 Diagram Alir Sistem Antrian

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Deskripsi Data Observasi

Data observasi dikumpulkan dari Kantin GKU-2 ITERA selama 10 jam operasional, dari pukul 07:00 hingga 16:59. Tabel berikut menyajikan ringkasan data yang dikumpulkan.

Tabel 4.1 Data Pengamatan

Jam	Datang	Selesai
07:00-07:59	45	35
08:00-08:59	31	32
09:00-09:59	60	30
10:00-10:59	52	38
11:00-11:59	55	35
12:00-12:59	41	37
13:00-13:59	9	36
14:00-14:59	35	36
15:00-15:59	52	35

16:00-16:59	18	23
Total	398	337

Dari data di atas, dapat dilihat bahwa total kedatangan pelanggan selama periode observasi adalah 398 pelanggan, sementara total yang berhasil dilayani adalah 340 pelanggan. Perbedaan signifikan ini mengindikasikan adanya permasalahan kapasitas dalam sistem pelayanan.

4.2 Hasil Perhitungan Parameter Sistem antrian

Berdasarkan data observasi, parameter dasar sistem antrian dihitung sebagai berikut.

- 1) Laju Kedatangan Rata-rata (λ):

$$\lambda = \frac{398}{10} = 39,8 \text{ pelanggan/jam}$$

Laju kedatangan sebesar 39,8 pelanggan per jam menunjukkan tingkat permintaan yang tinggi terhadap layanan kantin. Angka ini konsisten dengan karakteristik kantin kampus yang melayani populasi mahasiswa besar selama jam-jam aktif

- 2) Laju Pelayanan Rata-rata (μ):

$$\mu = \frac{337}{10} = 33,7 \text{ pelanggan/jam}$$

Laju pelayanan sebesar 34 pelanggan per jam mencerminkan kapasitas aktual sistem dalam memproses transaksi. Nilai ini jauh lebih rendah dibandingkan dengan laju kedatangan, mengindikasikan ketidakseimbangan fundamental dalam sistem.

- 3) Faktor Utilitas (ρ)

Menggunakan parameter $\lambda = 39,8$ dan $\mu = 34$, ukuran kinerja sistem M/M/1 dihitung sebagai berikut:

$$\rho = \frac{39,8}{33,7} = 1,181 \text{ atau } 118,1\%$$

Nilai faktor utilitas sebesar 1,181 atau 118,1% menunjukkan bahwa sistem cukup overload. Nilai ρ yang melebihi 1 menunjukkan bahwa laju kedatangan hampir 1,2 kali lipat lebih besar daripada kapasitas pelayanan. Dalam kondisi seperti ini, sistem tidak dapat mencapai kondisi steady-state dan antrian akan terus bertambah tanpa batas seiring berjalannya waktu

- 4) Probabilitas Sistem Kosong (P_0)

$$P_0 = 1 - 1,181 = -0,181 \text{ atau } -18,1\%$$

Nilai negatif untuk P_0 tidak memiliki interpretasi fisik yang valid dan mengkonfirmasi bahwa sistem tidak stabil. Dalam sistem yang stabil, P_0 seharusnya bernilai antara 0 dan 1, mewakili proporsi waktu di mana server menganggur.

- 5) Perhitungan lainnya melibatkan W_q (Rata-rata waktu antrian = -0,1936 menit), W_s (Rata-rata waktu sistem = -0,164 menit) menghasilkan nilai negatif yang menggambarkan pada satu server mengalami overload yang tidak bermakna secara fisik dan memerlukan penambahan kapasitas segera.

4.3 Situasi Penambahan Server

Mengingat kondisi eksisting dengan satu server ($M/M/1$) menghasilkan nilai utilitas $\rho > 1$ (sistem tidak stabil/antrian tak hingga), maka dilakukan simulasi perhitungan kinerja sistem dengan skenario penambahan kapasitas menjadi 2 Server ($c=2$). Dengan parameter awal yang digunakan berdasarkan data rata-rata keseluruhan berupa laju kedatangan rata-rata (λ) sebanyak 39,8 pelanggan/jam, laju pelayanan rata-rata per server (μ) sebanyak 33,7 pelanggan/jam dan jumlah server (c) sebanyak 2 dapat dihitung nilai utilitas $\rho = \frac{39,8}{2 \cdot 33,7}$ sehingga menghasilkan nilai utilitas adalah 0,5905 atau 59,05%. Karena $\rho < 1$, maka sistem dengan 2 server dinyatakan stabil dan mampu menangani seluruh beban kedatangan pelanggan.

Berdasarkan nilai utilitas tersebut, bisa dihitung juga nilai probabilitas sistem kosong (P_0) sebesar 0,2575 dimana probabilitas tidak ada pembeli di kantin adalah 25,75 %. Setelah itu, dengan ada nilai ρ dan P_0 dihitung rata-rata jumlah pelanggan dalam antrian (L_q) sebesar 0,632 pelanggan dan dari nilai L_q dihitung rata-rata jumlah pelanggan dalam sistem (L_s) sebesar 1,813 pelanggan. Terakhir dari nilai L_q dapat dihitung nilai rata-rata waktu tunggu dalam antrian (W_q) sebesar 0,0158 atau sekitar 57 detik dan dari nilai W_q dihitung juga nilai rata-rata waktu dalam sistem (W_s) sebesar 2,73. Dengan seluruh perhitungan tersebut bisa diinterpretasikan bahwa Penambahan menjadi 2 server terbukti sangat efektif karena menurunkan waktu tunggu antrian dari yang sebelumnya tidak terhingga (saat $c=1$) menjadi hanya di bawah 1 menit.

4.4 Interpretasi Waktu Sibuk

Setelah memutuskan untuk menambahkan jumlah server sebanyak 2, dilakukan analisis waktu sibuk untuk memetakan bahwa pada jam berapa saja yang memiliki kepadatan melebihi utilitas sebanyak 1 sehingga penambahan server bisa diatur secara efisien.

Tabel 4.2 Utilitas per jam

Jam	Datang	Selesai	Utilitas
07:00-07:59	45	36	1,95
08:00-08:59	31	32	0,97
09:00-09:59	60	30	2,00
10:00-10:59	52	38	1,37
11:00-11:59	55	35	1,57
12:00-12:59	41	37	1,11
13:00-13:59	9	36	0,25
14:00-14:59	35	36	0,97
15:00-15:59	52	35	1,49
16:00-16:59	18	28	0,64

Meskipun secara rata-rata keseluruhan sistem membutuhkan 2 server, analisis parsial tetap dilakukan pada jam-jam tertentu yang memiliki utilitas di bawah 1 ($\rho < 1$) pada kondisi 1 server (berdasarkan Tabel 4.2). Hal ini berguna untuk memetakan jam mana yang sebenarnya aman dikelola oleh 1 kasir saja.

Tabel berikut menunjukkan perhitungan kinerja sistem M/M/1 khusus pada jam-jam dengan utilitas $\rho < 1$.

Tabel 4.3 Kinerja Sistem pada Jam dengan $\rho < 1$ (Model M/M/1)

Jam	ρ (Utilitas)	Lq (Pelanggan)	Ls	Wq (Menit)	Ws (Menit)
08:00 – 08:59	0.97	30.03	31.00	58.12	60.00
13:00 – 13:59	0.25	0.08	0.33	0.55	2.22
14:00 – 14:59	0.97	34.03	35.00	58.33	60.00
16:00 – 16:59	0.64	1.16	1.80	3.86	6.00

Pada Jam Aman (1 Server Cukup) di pukul 13:00-13:59 dan 16:00-16:59, sistem berjalan sangat efisien dengan 1 server. Waktu tunggu (W_q) sangat singkat (0,55 menit dan 3,86 menit). Pada jam-jam ini, penambahan server menjadi 2 bersifat opsional atau tidak mendesak. Pada Jam Kritis (Butuh 2 Server) di pukul 08:00 dan 14:00, meskipun $\rho < 1$ (0,97), waktu tunggu pelanggan melonjak hingga hampir 60 menit. Ini menunjukkan bahwa nilai utilitas yang mendekati 1 sangat rentan terhadap kemacetan. Oleh karena itu, jam 08.00 dan 14.00 wajib dimasukkan dalam skenario penambahan server (2 kasir) bersama dengan jam-jam *overload* lainnya (07.00, 09.00, 10.00, 11.00, 15.00).

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis data dan hasil perhitungan simulasi antrian di Kantin GKU-2 ITERA, diperoleh kesimpulan yang menjawab tujuan penelitian sebagai berikut:

1. Evaluasi Kinerja Eksisting (M/M/1): Kinerja sistem antrian saat ini dengan satu server terbukti tidak memadai dan mengalami kegagalan sistem. Parameter rata-rata menunjukkan tingkat utilitas (ρ) sebesar 118,1%, yang berarti permintaan layanan melebihi kapasitas yang tersedia. Hal ini mengakibatkan antrian yang tidak stabil dan waktu tunggu yang tidak dapat ditoleransi.
2. Konfigurasi Optimal (M/M/2): Hasil simulasi menunjukkan bahwa penambahan kapasitas menjadi 2 server (kasir) adalah solusi optimal. Dengan konfigurasi ini, utilitas sistem turun menjadi 59,05% (stabil). Kinerja pelayanan meningkat drastis dengan rata-rata panjang antrian (L_q) hanya 0,63 orang dan rata-rata waktu tunggu antrian (W_q) hanya 0,95 menit (kurang dari 1 menit).
3. Strategi Operasional: Berdasarkan analisis pola kedatangan jam sibuk, strategi yang direkomendasikan adalah Manajemen Kapasitas Dinamis. Manajemen kantin disarankan mengoperasikan 2 server penuh pada rentang waktu pukul 07.00 – 12.00 dan 14.00 – 15.59. Sementara itu, pada jam lengang yaitu pukul 13.00 dan 16.00, operasional dapat diefisienkan kembali menjadi 1 server tanpa mengorbankan kualitas layanan.

5.2 Saran

Untuk meningkatkan kualitas pelayanan secara berkelanjutan, penulis menyarankan berupa Implementasi Fisik dimana segera menerapkan sistem lebih dari dua jalur antrian pada jam-jam sibuk yang telah teridentifikasi untuk mencegah penumpukan mahasiswa di area GKU-2. Lalu ada Pemisahan Layanan dimana mempertimbangkan pemisahan jalur antrian berdasarkan jenis pesanan, misalnya jalur khusus "Express" untuk pembelian minuman kemasan/roti dan jalur "Regular" untuk makanan berat, guna mempercepat waktu pelayanan (μ). Serta Pembagian metode pembayaran digital (QRIS) dan tunai dengan kasir yang berbeda yang lebih terintegrasi untuk mempercepat proses transaksi di kasir.

6. Daftar Pustaka

- [1] D. Indrajaya and R. Cornelia, “Analisis Model Antrian Loket Transaksi pada PT. Pos Indonesia (Persero) Kantor Cabang Sawangan dengan Menggunakan Software Promodel,” *Jurnal STRING*, vol. 3, no. 2, pp. 170–175, Dec. 2018.
- [2] E. Susanto and F. SE, “Analisis Perbandingan Sistem Antrian Model M/M/1 dan M/M/S untuk Pelayanan PBB di DPKAD Kabupaten Purwakarta,” *Eqien - Jurnal Ekonomi dan Bisnis*, vol. 3, no. 2, pp. 19–30, 2016.
- [3] I. Tikhonov and A. Barzel, “Queueing Systems with Service Resetting Can Turn Fluctuations into a Performance Gain,” *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)*, vol. 120, no. 15, e2308988120, 2023.
- [4] S. Anam, E. H. Susanto, and M. F. Rachman, “Implementasi Sistem Penunjang Keputusan Penentuan Sekolah Menengah Atas Menggunakan Metode SMART,” *Limits: Journal of Mathematics and Its Applications*, vol. 18, no. 2, pp. 123–131, 2021.
- [5] O. L. Bonomo, A. Pal, and S. Reuveni, “Mitigating long queues and waiting times with service resetting,” *arXiv preprint arXiv:2111.02097*, 2021.
- [6] A. Balaji, D. Zeng, and S. Amin, “The Role of Online Learning in Networked Control and Queueing Systems,” *arXiv preprint arXiv:2303.17746*, Mar. 2023.
- [7] A. Gu, R. Jin, and C. Lee, “Service Rate Control in Single Server Queues with Costly Information,” *arXiv preprint arXiv:2203.02757*, Mar. 2022.
- [8] W. Trianto, E. A. Firdaus, and B. A. Suburdjati, “Analisis Sistem Antrian Pendaftaran Menggunakan Metode Queuing System di Puskesmas Kota Cimahi,” *Jurnal Nuansa Informatika*, vol. 15, no. 2, pp. 64–69, Jul. 2021

- [9] X. Wu, D. Wu, and E. Modiano, “Queueing Delay Minimization in Overloaded Networks,” *arXiv preprint arXiv:2312.04054*, Dec. 2023.
- [10] A. Kirpichnikov and A. Titovtsev, “Generalized Little’s Formulas and Classification of Higher Orders Queues in the Queueing Theory,” *International Journal of Pure and Applied Mathematics*, vol. 114, no. 4, pp. 819–822, 2017. doi: 10.12732/ijpam.v114i4.11
- [11] J. Susetyo and S. R. Nasution, “Analisis Sistem Antrian Multiple Channel untuk Kapasitas Terbatas,” *Jurnal Ilmiah Teknik Industri*, vol. 5, no. 3, pp. 191–199, 2017.