

ANALISIS SISTEM ANTREAN PADA SPBU 54.803.16 ULUWATU UNTUK MENGUKUR EFISIENSI PELAYANAN

Ragah Nihan Razando¹, Novia Nurrohmah², Ni Made Ari Puan Kamini³, I Gede Darma Yuda Udayana⁴, Made Ayu Dwi Octavanny^{5§}

¹Program Studi Matematika, Fakultas MIPA-Universitas Udayana[Email:razando.2308541002@student.unud.ac.id]

²Program Studi Matematika, Fakultas MIPA-Universitas Udayana[Email:nurrohmah.2308541013@student.unud.ac.id]

³Program Studi Matematika, Fakultas MIPA-Universitas Udayana[Email:kamini.2308541016@student.unud.ac.id]

⁴Program Studi Matematika, Fakultas MIPA-Universitas Udayana[Email:udayana2308541025@student.unud.ac.id]

⁵Program Studi Matematika, Fakultas MIPA-Universitas Udayana[Email:octavanny@unud.ac.id]

§Corresponding Author

ABSTRACT

This study aims to analyze the queuing characteristics of motorcycles refueling pertalite at SPBU 54.803.16 Uluwatu and to determine the most appropriate queueing model to represent the performance of its service system. Data were collected through direct observation on Monday and Saturday to examine the patterns of vehicle arrivals and service times. The analysis was carried out using queueing theory, applying the M/G/1 and G/G/1 models along with distribution tests to identify the suitability of arrival and service patterns. The results indicate that the distribution of arrivals on both observation days is not entirely uniform, with noticeable variations at specific time intervals. Based on the data analysis, the G/G/1 model provides a more accurate representation of the queueing conditions, as both arrival and service processes exhibit randomness without following a specific theoretical distribution. System performance evaluation shows that the server utilization rate is relatively high, leading to increased waiting times and longer queues during peak hours. These findings suggest the need for operational adjustments, particularly during high-demand periods, to improve service efficiency and reduce traffic congestion around the fuel station.

Keywords: *Queueing System, M/G/1, G/G/1, Arrival Pattern, Service Efficiency*

1. PENDAHULUAN

Menurut Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (2023) stasiun pengisian bahan bakar umum (SPBU) merupakan prasarana umum yang berperan penting dalam menyediakan kebutuhan bahan bakar bagi masyarakat yang operasionalnya diatur dalam peraturan pemerintah. Efektivitas dan efisiensi pelayanan di SPBU menjadi aspek yang krusial karena berpengaruh langsung terhadap kepuasan pelanggan serta kelancaran arus lalu lintas di area sekitarnya (Roren et al., 2025). Pada jam-jam tertentu, peningkatan volume kendaraan dapat menyebabkan terjadinya penumpukan antrean, yang kemudian menimbulkan potensi kemacetan serta penurunan kenyamanan pengguna jalan (Listiyani et al., 2019). Oleh karena itu, upaya untuk memahami karakteristik antrean pada fasilitas seperti SPBU menjadi

sangat penting dalam rangka meningkatkan kualitas pelayanan.

Salah satu kasus antrean yang cukup signifikan terjadi di SPBU 54.803.16 Uluwatu, yang berlokasi di depan Politeknik Negeri Bali (PNB). Lokasi strategis tersebut menyebabkan tingginya intensitas kendaraan, terutama sepeda motor yang mengisi bahan bakar jenis pertalite. Fenomena antrean sering kali memanjang hingga ke badan jalan, terutama pada pagi dan sore hari ketika aktivitas perkuliahan berlangsung. Kondisi ini tidak hanya menghambat pergerakan lalu lintas, tetapi juga mengindikasikan perlunya evaluasi terhadap sistem pelayanan SPBU untuk memastikan bahwa kapasitas layanan mampu mengimbangi tingkat kedatangan kendaraan.

Untuk memahami fenomena tersebut secara objektif, diperlukan pendekatan matematis

melalui teori antrean. Teori antrean merupakan cabang dari proses stokastik yang mempelajari sistem pelayanan dengan waktu kedatangan dan waktu pelayanan yang bersifat acak (Sztrik, 2021). Penggunaan teori antrean banyak diterapkan pada sistem pelayanan publik karena mampu menggambarkan hubungan antara kedatangan pelanggan, kapasitas pelayanan, panjang antrean, dan waktu tunggu (Kuppusamy & Gowrishankar, 2024). Penggunaan model M/G/1 dan G/G/1 pada penelitian ini didasarkan pada karakteristik empiris sistem antrean di SPBU. Model M/G/1 digunakan ketika kedatangan mengikuti proses Poisson namun waktu pelayanan tidak eksponensial, sementara model G/G/1 digunakan ketika baik pola kedatangan maupun waktu pelayanan tidak mengikuti distribusi tertentu dan memiliki variasi yang tinggi (Fachrur et al., 2022; Lefebvre & Yaghoubi, 2024).

Meskipun berbagai penelitian terdahulu telah memberikan kontribusi penting dalam pengembangan teori dan aplikasi sistem antrean di SPBU, masih terdapat beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan. Sebagian penelitian cenderung mengabaikan validasi empiris distribusi kedatangan dan pelayanan, sehingga estimasi parameter yang dihasilkan berpotensi bias dan kurang mencerminkan kondisi lapangan secara akurat. Oleh karena itu, penelitian ini diposisikan dalam kerangka teori antrean terapan dengan pendekatan berbasis data empiris. Kontribusi utama mencakup validasi asumsi distribusi melalui uji Chi-Square (untuk data frekuensi) dan Kolmogorov-Smirnov (untuk data kontinu), serta pemilihan model antrean disesuaikan dengan hasil pengujian tersebut. Dengan demikian, model yang digunakan tidak hanya bersifat teoritis, tetapi juga mencerminkan kondisi nyata sistem pelayanan pada SPBU 54.803.16 Uluwatu.

Analisis menggunakan model M/G/1 dan G/G/1 memungkinkan peneliti menghitung parameter sistem seperti rata-rata waktu tunggu, panjang antrean, tingkat pemanfaatan server, dan peluang sistem kosong. Parameter-parameter tersebut bermanfaat dalam mengevaluasi apakah SPBU telah bekerja pada kondisi *steady state* serta seberapa efisien layanan diberikan kepada konsumen. Selain itu, penelitian-penelitian terbaru juga menunjukkan bahwa model antrean semakin banyak digunakan untuk menganalisis dinamika sistem pelayanan publik guna meningkatkan efektivitas dan pengambilan keputusan operasional (Efrosinin et al., 2025).

Dengan demikian, pendekatan teori antrean menjadi metode yang tepat untuk mengkaji permasalahan antrean di SPBU 54.803.16 Uluwatu.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini merumuskan dua pertanyaan utama, yaitu: (1) apakah pola distribusi kedatangan kendaraan pada hari pengamatan yang berbeda, yaitu Senin dan Sabtu menunjukkan keseragaman atau perbedaan signifikan; dan (2) model antrean apa yang paling tepat digunakan untuk menggambarkan dinamika antrean kendaraan di SPBU 54.803.16 Uluwatu serta apakah model tersebut berada dalam kondisi *steady state*. Selanjutnya, untuk menjawab kedua pertanyaan tersebut, penelitian ini menetapkan dua tujuan yang masing-masing terikat pada hasil matematis yang terukur. Tujuan penelitian ini bertujuan, yaitu menganalisis pola distribusi kedatangan kendaraan melalui uji Chi-Square dan Kolmogorov-Smirnov, dengan hasil berupa identifikasi distribusi terbaik (Poisson atau non-Poisson) beserta nilai parameter per periode pengamatan; menentukan model antrean yang sesuai dengan karakteristik data berdasarkan hasil validasi distribusi, dengan hasil berupa perhitungan parameter sistem antrean. Selain itu, parameter matematis model antrean juga digunakan untuk mengevaluasi kinerja sistem antrean. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan rekomendasi praktis bagi pengelola SPBU dalam meningkatkan efisiensi pelayanan, serta kontribusi teoretis dalam pengembangan kajian teori antrean terapan melalui pendekatan berbasis data empiris dalam validasi asumsi distribusi dan pemilihan model antrean.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Sumber Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data primer yang diperoleh melalui observasi langsung di SPBU 54.803.16 Uluwatu yang berlokasi di Jl. Raya Uluwatu No. 45xx, Jimbaran, Kuta Selatan, Kabupaten Badung, Bali. Pengamatan difokuskan pada kendaraan roda dua yang melakukan pengisian bahan bakar jenis pertalite pada satu jalur antrean (*single line*).

Pengumpulan data dilakukan pada dua waktu pengamatan yang mewakili kondisi operasional yang berbeda, yaitu:

- i. Hari kerja dilaksanakan pada hari Senin, 10 November 2025 pukul 11.33–12.33 WITA

dengan durasi 60 menit dan menghasilkan 68 data kendaraan.

- ii. Akhir pekan dilakukan pada hari Sabtu, 15 November 2025 pukul 11.33–12.33 WITA dengan durasi yang sama dan menghasilkan 50 data kendaraan.

Data yang dicatat meliputi waktu kedatangan kendaraan, waktu mulai pelayanan, dan waktu selesai pelayanan. Seluruh pencatatan waktu dilakukan berdasarkan *timestamp* aktual untuk setiap kendaraan guna menjamin ketelitian data dan memudahkan proses pengolahan selanjutnya. Proses pengumpulan data dibantu dengan *spreadsheet*, sedangkan pengolahan data dilakukan menggunakan perangkat lunak *Minitab* dan *R*.

2.2 Variabel Penelitian

Berdasarkan data mentah yang diperoleh dari hasil observasi, ditentukan beberapa variabel yang digunakan dalam analisis sistem antrian, yaitu:

- i. Selang waktu antar kedatangan (*interarrival time*), yang menyatakan selisih waktu antara dua kendaraan berturut-turut yang datang ke sistem.
- ii. Waktu pelayanan (*service time*), yaitu lama waktu yang dibutuhkan untuk melayani satu kendaraan.

2.3 Metode Analisis Antrian

Berdasarkan Wahyudi et al. (2022) pengelompokan model antrian yang berbeda-beda dapat menggunakan notasi Kendall-Lee. Notasi Kendall dituliskan sebagai $(a/b/c): (d/e/f)$ dengan a menyatakan distribusi waktu antar kedatangan, b menyatakan distribusi waktu pelayanan, c menyatakan jumlah fasilitas pelayanan, d menyatakan disiplin antrian (FIFO, LCFS, SIRO, PS), e menyatakan jumlah maksimum dalam system, dan f jumlah pelanggan dalam sistem sebagai sumber. Distribusi kedatangan (a) dan distribusi waktu pelayanan (b) yang sering digunakan dalam suatu sistem antrian adalah distribusi Markovian (M), *general* (G), *deterministic* (D), dsb.

Analisis sistem antrian dilakukan menggunakan pendekatan teori antrian dengan menerapkan model $M/G/1:FIFO/\infty/\infty$ dan $G/G/1:FIFO/\infty/\infty$. Model $M/G/1$ digunakan dengan asumsi bahwa pola kedatangan kendaraan mengikuti proses Poisson, sedangkan waktu pelayanan mengikuti distribusi umum. Sementara itu, model $G/G/1$ digunakan sebagai

pendekatan lanjutan untuk menggambarkan kondisi sistem ketika baik pola kedatangan maupun waktu pelayanan bersifat acak dan tidak mengikuti distribusi tertentu.

Sebelum pemodelan dilakukan, distribusi kedatangan dan waktu pelayanan diuji menggunakan uji *Chi-square* dan Kolmogorov-Smirnov untuk mengetahui kesesuaian asumsi distribusi. Hipotesis yang digunakan dalam pengujian ini sebagai berikut:

Hipotesis uji distribusi proses kedatangan:

H_0 : waktu kedatangan mengikuti distribusi Poisson.

H_1 : waktu kedatangan tidak mengikuti distribusi Poisson.

Hipotesis uji distribusi waktu pelayanan:

H_0 : waktu pelayanan mengikuti distribusi eksponensial.

H_1 : waktu pelayanan tidak mengikuti distribusi eksponensial.

Pengujian terhadap distribusi waktu kedatangan dilakukan dengan menggunakan uji *Chi-Square* karena data kedatangan dinyatakan dalam bentuk frekuensi kejadian dalam interval 10 menit (data diskrit). Sementara itu, pengujian terhadap distribusi waktu pelayanan dilakukan menggunakan uji Kolmogorov-Smirnov karena data waktu pelayanan bersifat kontinu dan tidak memerlukan pengelompokan kelas.

Selain itu, uji Kolmogorov-Smirnov dua sampel terhadap distribusi waktu kedatangan pada hari Senin dan Sabtu. Hipotesis yang digunakan dalam pengujian ini adalah

H_0 : distribusi waktu kedatangan pada hari Senin dan Sabtu identik.

H_1 : distribusi waktu kedatangan pada hari Senin dan Sabtu tidak identik.

Uji Kolmogorov-Smirnov dua sampel merupakan metode nonparametrik yang membandingkan fungsi distribusi kumulatif empiris dua sampel untuk menentukan apakah kedua sampel tersebut berasal dari distribusi yang identik, tanpa mengasumsikan bentuk distribusi tertentu (Vinicio et al., 2023).

Selanjutnya, parameter sistem antrian seperti tingkat pemanfaatan *server*, panjang antrian rata-rata, waktu tunggu rata-rata, dan waktu rata-rata kendaraan berada dalam sistem dihitung untuk mengevaluasi kinerja sistem serta kondisi *steady state*. Notasi-notasi yang digunakan dalam perhitungan parameter antrian disajikan dalam tabel 1.

Tabel 1. Notasi-notasi Parameter Antrean

Notasi	Keterangan	Satuan
ρ	Tingkat intensitas fasilitas pelayanan	%
p_0	Probabilitas tidak ada pelanggan dalam sistem	%
λ	Laju kedatangan rata-rata	Unit/menit
$\frac{1}{\lambda}$	Waktu antar kedatangan rata-rata	Menit/unit
μ	Laju pelayanan rata-rata	Unit/menit
$\frac{1}{\mu}$	Waktu pelayanan rata-rata	Menit/unit
L_q	Banyak individu rata-rata dalam antrean	Unit
L_s	Banyak individu dalam sistem total	Unit
W_q	Waktu rata-rata dalam antrean	Menit
W_s	Waktu rata-rata dalam sistem total	Menit

Kondisi *steady state* dapat tercapai ketika *service rate* (μ) lebih tinggi dibandingkan *arrival rate* (λ), yaitu $\lambda < \mu$ (Taha, 2017). Lebih lanjut, Taha (2017) menuliskan tingkat pemanfaatan fasilitas pelayanan (*utilization*) sebagai

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

Nilai utilitas ini menunjukkan keadaan *steady state* dari sistem antrean.

Model antrean $M/G/1$ dapat dianalisis menggunakan persamaan yang diadaptasi dari Rauca et al. (2025). Peluang sistem dalam keadaan kosong, dinyatakan sebagai

$$p_0 = 1 - \rho,$$

Rata-rata jumlah pelanggan dalam antrean dinyatakan sebagai

$$L_q = \frac{\rho^2(1+v_s^2)}{2p_0},$$

sedangkan rata-rata jumlah pelanggan dalam sistem adalah

$$L_s = L_q + \rho.$$

Notasi v_s^2 menyatakan koefisien variasi kuadrat waktu pelayanan, yaitu rasio antara ragam waktu pelayanan dan kuadrat rata-rata waktu pelayanan. Rata-rata waktu yang dihabiskan pelanggan dalam sistem dirumuskan sebagai

$$W_s = \frac{L_s}{\lambda},$$

sedangkan rata-rata waktu yang dihabiskan pelanggan dalam antrean dirumuskan sebagai

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

Model antrean $G/G/1$ merupakan perluasan dari model $M/G/1$ dengan melonggarkan

asumsi distribusi waktu antar kedatangan yang diasumsikan berdistribusi umum. Meskipun solusi eksak dalam bentuk tertutup untuk model $G/G/1$, karakteristik kinerja sistem antrean masih dapat didekati dengan pendekatan Kingman. Kinerja sistem antrean $G/G/1$ pada penelitian ini diadaptasi dari Fachrur et al. (2022).

Peluang sistem dalam keadaan kosong dinyatakan sebagai

$$p_0 = 1 - \rho.$$

Rata-rata jumlah pelanggan dalam antrean diberikan oleh

$$L_q \approx \frac{\lambda^2(\lambda^2 var(x_i) + \mu^2 var(y_i))}{2\mu(\mu - \lambda)},$$

sedangkan rata-rata jumlah pelanggan dalam sistem adalah

$$L_s \approx L_q + \rho.$$

Notasi $var(x_i)$ menyatakan ragam waktu antar kedatangan sedangkan $var(y_i)$ menyatakan pada ragam waktu pelayanan. Rata-rata waktu yang dihabiskan pelanggan dalam antrean dirumuskan sebagai

$$W_q \approx \frac{L_q}{\lambda},$$

sedangkan rata-rata waktu yang dihabiskan pelanggan dalam sistem dirumuskan sebagai

$$W_s \approx W_q + \frac{1}{\mu}.$$

Pengukuran parameter kinerja sistem, termasuk tingkat pemanfaatan, panjang antrean, dan waktu tunggu rata-rata, memberikan dasar analitis untuk mengevaluasi efisiensi sistem pelayanan. Hasil analisis tersebut kemudian menjadi dasar dalam penyajian dan pembahasan kinerja sistem antrean.

2.4 Asumsi dan Keterbatasan Model

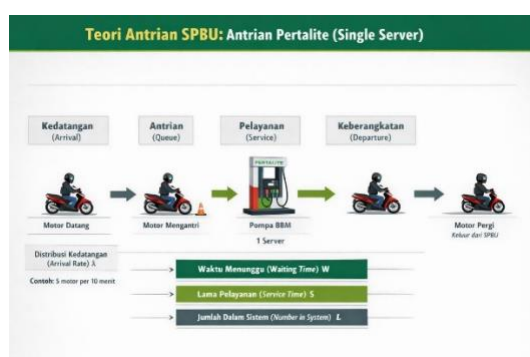
Analisis sistem antrean didasarkan pada kerangka teori antrean terapan dengan sejumlah asumsi yang diperlukan untuk menyederhanakan sistem nyata ke dalam model matematis. Asumsi-asumsi yang digunakan, yaitu (1) Independensi kedatangan yang mengasumsikan kedatangan suatu kendaraan tidak dipengaruhi oleh kedatangan sebelumnya; (2) Disiplin pelayanan FIFO (*first in first out*), kendaraan yang datang lebih dahulu akan dilayani terlebih dahulu; (3) Kapasitas sistem dan populasi tidak terbatas, asumsi ini tidak memberikan Batasan jumlah kendaraan yang dapat masuk ke dalam sistem antrean; (4) Kondisi *steady state*, laju kedatangan lebih kecil daripada laju pelayanan ($\lambda < \mu$), sehingga

antrean tidak bertambah secara tidak terbatas; (5) Kesesuaian model berdasarkan data empiris, pemilihan model antrean tidak semata-mata didasarkan pada asumsi teoritis, tetapi juga pada hasil pengujian distribusi data.

Meskipun model yang digunakan telah disesuaikan dengan karakteristik data empiris, namun terdapat beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan dalam interpretasi hasil, yaitu (1) Ketidakesesuaian asumsi distribusi klasik, model yang digunakan merupakan pendekatan terhadap sistem belum sepenuhnya merepresentasikan kompleksitas kondisi lapangan; (2) Variabilitas sistem yang tidak sepenuhnya dimodelkan, model antrean yang digunakan belum secara eksplisit mempertimbangkan variabilitas dalam proses kedatangan dan pelayanan, yang dalam praktiknya dapat dipengaruhi oleh faktor operasional di lapangan; (3) Asumsi independensi yang mungkin tidak terpenuhi, pada periode tertentu seperti jam sibuk, kedatangan kendaraan pada SPBU cenderung bersifat berkelompok; (4) Keterbatasan data pengamatan, data yang digunakan terbatas pada dua hari pengamatan, yaitu hari Senin dan Sabtu, sehingga belum mencerminkan keseluruhan variasi operasional SPBU. Oleh karena itu, hasil analisis tidak dapat digeneralisasi secara langsung untuk seluruh hari operasional tanpa kajian tambahan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Struktur Data



Gambar 1 Sistem Pelayanan *Single Channel Single Phase*

Desain sistem antrean yang digunakan adalah *single channel single phase*. Desain antrean ini memiliki satu jalur antrean dengan satu tahap pelayanan, sehingga pelanggan yang telah menerima pelayanan dapat langsung keluar

dari sistem antrean (Nengsih et al., 2020). Alur kedatangan pelanggan hingga kepulangan pelanggan ditunjukkan oleh gambar 1.

3.2 Statistik Deskriptif

Selang waktu kedatangan pelanggan pada pengamatan hari Senin memiliki rata-rata lebih kecil dibandingkan hari Sabtu yang menunjukkan intensitas kedatangan lebih tinggi pada hari Senin. Variabilitas kedatangan pada pengamatan hari Sabtu jauh lebih besar dengan standar deviasi dan rentang kedatangan paling lebar. Kondisi ini mengindikasikan pola kedatangan yang tidak merata dan sangat fluktuatif.

Waktu tunggu dalam antrean pada hari Sabtu secara konsisten lebih tinggi di bandingkan hari Senin, baik dari sisi nilai rata-rata maupun ukuran statistik lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa antrean pada hari Sabtu lebih panjang dan tidak stabil, sejalan dengan tingginya fluktuasi waktu antar kedatangan. Selain itu, waktu pelayanan pada hari Sabtu cenderung lebih lama dan lebih bervariasi, yang berpotensi menurunkan laju pelayanan dan memperburuk kinerja sistem antrean. Kombinasi variabilitas kedatangan dan pelayanan tersebut menyebabkan peningkatan waktu tunggu serta total waktu kendaraan berada dalam sistem pada hari Sabtu. Secara keseluruhan, kinerja sistem antrean pada hari Sabtu lebih padat, lambat, dan fluktuatif dibandingkan hari Senin.

3.3 Kesesuaian Distribusi dan Penentuan Model Antrean

Model antrean $M/M/1$ mengansumsikan bahwa proses kedatangan berdistribusi Poisson dan waktu pelayanan mengikuti distribusi eksponensial (Talbi & Gal, 2025). Pengujian kecocokan distribusi dilakukan untuk menguji pemenuhan asumsi tersebut terhadap data waktu kedatangan dan pelayanan kendaraan pada hari Senin dan Sabtu di SPBU 54.803.16 Uluwatu dengan taraf signifikansi 5%.

Hasil pengujian waktu kedatangan dengan uji *Chi-Square* menunjukkan pada hari Senin diperoleh p -value sebesar 0,9092 (p -value $> \alpha = 0,05$), sehingga keputusan yang diambil adalah gagal tolak H_0 . Artinya, distribusi kedatangan kendaraan dapat diasumsikan mengikuti distribusi Poisson. Sebaliknya, pada hari Sabtu diperoleh p -value sebesar 0,00391 (p -value $< \alpha = 0,05$), sehingga keputusan yang diambil adalah tolak H_0 .

Artinya, distribusi kedatangan kendaraan tidak mengikuti distribusi Poisson. Selanjutnya, hasil uji Kolmogorov-Smirnov terhadap distribusi waktu pelayanan menunjukkan bahwa pada kedua hari pengamatan p -value yang diperoleh lebih kecil dari 0,05, sehingga asumsi distribusi eksponensial pada waktu pelayanan tidak terpenuhi baik pada hari Senin maupun Sabtu.

Selain itu, hasil pengujian uji Kolmogorov-Smirnov dua sampel terhadap distribusi waktu kedatangan pada hari Senin dan Sabtu menunjukkan p -value sebesar 0,2259 (p -value $> \alpha = 0,05$), sehingga Keputusan yang diambil adalah gagal tolak H_0 . Artinya, tidak ada perbedaan distribusi waktu kedatangan yang signifikan antara kedua hari pengamatan. Hasil ini menggambarkan pola kedatangan kendaraan pada kedua hari tersebut relatif konsisten, yang mencerminkan keseragaman mekanisme operasional sistem pelayanan yang diterapkan.

Berdasarkan hasil pengujian distribusi tersebut, model $M/M/1$ tidak sesuai untuk menggambarkan sistem antrean kendaraan pada kedua hari pengamatan. Pada hari Senin, meskipun proses kedatangan mengikuti distribusi Poisson, namun waktu pelayanan bersifat general, sehingga model yang lebih tepat digunakan adalah $M/G/1$ dengan disiplin pelayanan *first in first out* (FIFO). Sementara itu, pada hari Sabtu, baik proses kedatangan maupun waktu pelayanan bersifat general, sehingga sistem antrean lebih tepat dimodelkan dengan $G/G/1$ dengan disiplin antrean FIFO.

3.4 Kondisi *Steady State*

Kondisi *steady state* merupakan keadaan ketika karakteristik sistem antrean seperti panjang antrean, waktu tunggu, dan jumlah pelanggan dalam sistem berada dalam kondisi stabil secara statistik dan tidak mengalami perubahan signifikan terhadap waktu (Xiong, 2023). Suatu sistem dikatakan mencapai *steady state* apabila laju kedatangan lebih kecil daripada laju pelayanan ($\lambda < \mu$), yang ekuivalen dinyatakan dengan tingkat utilitas (ρ) kurang dari satu ($\rho < 1$). Sebelum menghitung parameter sistem antrean, terlebih dahulu dilakukan analisis statistik terhadap variabel penelitian, yaitu waktu antar kedatangan (*interarrival time*) dan waktu pelayanan (*service time*).

Tabel 2. Statistik Variabel

Ukuran	Senin	Sabtu
Rata-rata Interarrival (menit)	0,819	1,229
Rata-rata Pelayanan (menit)	0,781	0,871

Rata-rata waktu antar kedatangan kendaraan pada hari Senin adalah 0,819 menit, yang menunjukkan bahwa intensitas kedatangan kendaraan relatif tinggi. Nilai rata-rata waktu antar kedatangan yang kecil berimplikasi pada tingginya laju kedatangan (λ), sehingga meningkatkan tekanan terhadap sistem pelayanan. Sementara itu, rata-rata waktu pelayanan sebesar 0,781 menit mengindikasikan bahwa proses pelayanan berlangsung relatif cepat, yang berarti laju pelayanan (μ) cukup besar. Namun demikian, kedekatan antara rata-rata waktu antar kedatangan dan waktu pelayanan menunjukkan bahwa laju kedatangan mendekati laju pelayanan ($\lambda \approx \mu$), sehingga sistem berpotensi berada dalam kondisi hampir jenuh. Kondisi ini secara teoritis dapat menyebabkan peningkatan signifikan pada panjang antrean dan waktu tunggu akibat sensitivitas sistem terhadap perubahan kecil dalam laju kedatangan.

Pada hari Sabtu, rata-rata waktu antar kedatangan kendaraan sebesar 1,229 menit menunjukkan bahwa intensitas kedatangan kendaraan lebih rendah dibandingkan hari Senin, yang secara konseptual mencerminkan laju kedatangan (λ) yang lebih kecil. Di sisi lain, rata-rata waktu pelayanan tercatat sebesar 0,871 menit per kendaraan mengindikasikan bahwa proses pelayanan relatif lebih lambat, sehingga laju pelayanan (μ) juga lebih rendah dibandingkan hari Senin. Meskipun demikian, perbedaan antara laju kedatangan dan laju pelayanan pada hari Sabtu relatif lebih besar ($\mu > \lambda$), sehingga sistem cenderung memiliki kapasitas pelayanan yang lebih longgar. Namun, waktu tunggu tidak hanya dipengaruhi oleh tingkat kedatangan dan rata-rata pelayanan, tetapi juga oleh variabilitas dalam proses pelayanan. Oleh karena itu, meskipun intensitas kedatangan lebih rendah, sistem tetap berpotensi menghasilkan waktu tunggu yang tidak jauh berbeda apabila variabilitas pelayanan cukup tinggi.

Statistik deskriptif dari kedua variabel tersebut, seperti nilai rata-rata, digunakan sebagai dasar dalam mengestimasi laju kedatangan (λ), laju pelayanan (μ), tingkat utilitas (ρ), peluang sistem kosong (p_0), panjang antrean (L_q), jumlah kendaraan dalam sistem (L), serta waktu tunggu dalam antrean (W_q) dan waktu dalam sistem (W_s). Nilai-nilai parameter antrean disajikan pada Tabel 2.

Tabel 3. Nilai Parameter Antrean

Ukuran	Senin	Sabtu
λ (laju kedatangan)	1,221	0,814
μ (laju pelayanan)	1,281	1,148
ρ (utilitas)	0,954	0,709
p_0 (peluang tidak ada antrean)	0,046	0,291
L_q (kendaraan/menit)	10,832	6,112
L_s (system/menit)	11,786	6,821
W_q (menit)	8,870	7,511
W_s (menit)	9,651	8,382

Laju kedatangan kendaraan ($\lambda_{senin} = 1,221$) mendekati laju pelayanan ($\mu = 1,281$) sehingga utilitas *server* tergolong tinggi, yaitu sebesar 95,4%. Kondisi ini menunjukkan bahwa sistem berada dalam keadaan hampir jenuh, dengan peluang sistem kosong (tidak terdapat antrean) yang relatif kecil, yaitu sebesar 4,6%.

Secara teoritis, ketika nilai laju kedatangan (λ) mendekati laju pelayanan (μ), sistem menjadi sangat sensitif terhadap perubahan kecil pada laju kedatangan, sehingga peningkatan kecil pada λ dapat menyebabkan peningkatan waktu tunggu yang signifikan. Hal ini tercermin pada nilai panjang antrean rata-rata (L_q) mencapai 11 kendaraan dengan rata-rata total kendaraan dalam sistem (L_s) berjumlah 12 kendaraan. Waktu tunggu kendaraan dalam antrean (W_q) adalah 8,87 menit sedangkan total waktu di dalam sistem (W_s) mencapai 9,651 menit. Secara operasional, kondisi ini mengindikasikan bahwa SPBU berpotensi mengalami antrean panjang pada periode sibuk, sehingga dapat menurunkan kenyamanan pelanggan dan efisiensi pelayanan.

Laju kedatangan kendaraan ($\lambda_{sabtu} = 0,814$) lebih rendah dibandingkan laju pelayanan ($\mu_{sabtu} = 1,148$), sehingga utilitas *server* hanya berkisar 70,9%. Kondisi ini menunjukkan bahwa server tidak selalu berada dalam keadaan sibuk, dan memiliki waktu kosong (*idle time*) yang lebih besar, dengan peluang sistem kosong sebesar 29,1%.

Secara teoritis, ketika laju pelayanan lebih besar dibandingkan laju kedatangan, sistem cenderung berada dalam kondisi yang lebih longgar, sehingga tekanan antrean relatif lebih rendah. Hal ini tercermin pada panjang antrean rata-rata (L_q) berada pada 6 kendaraan, total sistem (L) 7 hingga 8 kendaraan. Waktu tunggu kendaraan dalam antrean (W_q) adalah 7,511 menit, sedangkan waktu tunggu dalam sistem (W_s) sebesar 8,382 menit, yang mencerminkan beban sistem relatif lebih ringan dibandingkan hari senin. Meskipun demikian, waktu tunggu yang relatif tinggi menunjukkan bahwa kinerja sistem tidak hanya dipengaruhi oleh tingkat utilitas, tetapi juga oleh faktor lain seperti variabilitas waktu pelayanan. Secara operasional, kondisi ini mengindikasikan bahwa meskipun server memiliki waktu menganggur yang lebih besar, pelanggan tetap berpotensi mengalami waktu tunggu yang cukup lama akibat ketidakstabilan proses pelayanan.

Secara komparatif, hari Senin menunjukkan tingkat utilitas yang lebih tinggi dibandingkan hari Sabtu, yang berdampak pada peningkatan panjang antrean dan waktu tunggu. Namun demikian, meskipun utilitas pada hari Sabtu lebih rendah, waktu tunggu yang dihasilkan tidak berkurang secara proporsional. Hal ini mengindikasikan bahwa kinerja sistem antrean tidak hanya dipengaruhi oleh tingkat utilitas, tetapi juga faktor lain seperti selisih antara laju kedatangan dan laju pelayanan serta variabilitas waktu pelayanan.

Selain itu, pada kedua hari pengamatan, nilai utilitas *server* berada di bawah satu menunjukkan bahwa sistem berada dalam kondisi stabil (*steady state*), sehingga masih mampu menangani arus kedatangan kendaraan tanpa menyebabkan penumpukan antrean yang tidak terbatas. Oleh karena itu, penggunaan model antrean $M/G/1:FIFO/\infty/\infty$ untuk menggambarkan antrean di hari Senin dan model $G/G/1:FIFO/\infty/\infty$ di hari Sabtu, dinilai representatif dalam menggambarkan karakteristik kedatangan dan pelayanan masing-masing hari.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil analisis sistem antrean kendaraan pengisian BBM Pertalite di SPBU 54.803.16 Uluwatu, dapat disimpulkan bahwa pola distribusi waktu pelayanan pada setiap hari Senin dan Sabtu tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan, sehingga dapat dianggap berasal dari distribusi yang sama. Namun demikian, hasil pengujian asumsi distribusi menunjukkan bahwa pada hari Sabtu pola kedatangan tidak memenuhi asumsi distribusi Poisson, sementara asumsi distribusi eksponensial untuk waktu pelayanan tidak terpenuhi pada kedua hari pengamatan. Oleh karena itu, model antrean $M/M/1: FIFO/\infty/\infty$ tidak tepat digunakan untuk menggambarkan sistem antrean pada SPBU tersebut.

Hasil evaluasi menunjukkan bahwa model $M/G/1: FIFO/\infty/\infty$ lebih sesuai untuk menggambarkan sistem antrean pada hari Senin, sedangkan pada hari Sabtu model $G/G/1: FIFO/\infty/\infty$ memberikan representasi yang lebih realistis. Perbedaan dinamika antrean terutama dipengaruhi oleh intensitas kedatangan kendaraan. Rata-rata selang waktu antar kedatangan yang lebih singkat pada hari Senin menyebabkan tingkat pemanfaatan *server* sangat tinggi, yaitu sebesar 95,4%, sehingga antrean mudah terbentuk dan sulit kembali kosong. Sebaliknya, pada hari Sabtu tingkat pemanfaatan *server* sebesar 70,9% menunjukkan bahwa sistem memiliki kapasitas pelayanan yang lebih longgar, sehingga penumpukan antrean relatif lebih kecil meskipun waktu tunggu rata-rata lebih besar. Hasil ini menegaskan pentingnya pemilihan model antrean alternatif untuk menggambarkan kondisi nyata sistem pelayanan.

Adapun saran untuk penelitian selanjutnya adalah memperluas periode dan hari pengamatan agar karakteristik antrean dapat dianalisis secara lebih komprehensif. Selain itu, penelitian lanjutan dapat mengkaji konsistensi penerapan model $M/G/1$ dan $G/G/1$ pada dataset yang lebih besar atau pada SPBU dengan karakteristik berbeda. Penggunaan metode simulasi antrean juga dapat dipertimbangkan untuk mengevaluasi berbagai skenario pelayanan dan memperkaya analisis kinerja sistem antrean.

DAFTAR PUSTAKA

- Efrosinin, D., Vishnevsky, V., Stepanova, N., & Sztrik, J. (2025). Use Cases of Machine Learning in Queueing Theory Based on a GI/G/K System. *Mathematics*, 13(5). <https://doi.org/10.3390/math13050776>
- Fachrur, A. R., Hutagaol, L. N., & Rendiansyah, R. (2022). Analisis sistem antrian model G/G/1 pada fasilitas layanan kesehatan. *Journal of Systems Engineering and Management*, 1(1), 23. <https://doi.org/10.36055/joseam.v1i1.17547>
- Nengsih, Y. G. (2020). Optimalisasi Antrian Menggunakan Metode Single Channel Single Phase (Studi Kasus Dr. Reksodiwiryo Padang). *Jurnal Ilmiah Perikam Dan Informasi Kesehatan Imelda (JIPIKI)*, 5(1), 30–39. <https://doi.org/10.52943/jipiki.v5i1.356>
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. (2023). *Pedoman Teknik Keselamatan Peralatan dan Instalasi Serta Pengoperasian Instalasi Stasiun Bahan Bakar Minyak untuk Masyarakat Umum*.
- Kuppusamy, V., & Gowrishankar, L. (2024). Performance Evaluation of a M/G/1 Queue Model for Patient Flow in a Health Care System. *Mathematical Modelling of Engineering Problems*, 11(4), 863–871. <https://doi.org/10.18280/mmep.110403>
- Lefebvre, M., & Yaghoubi, R. (2024). Optimal Service Time Distribution for an M/G/1 Waiting Queue. *Axioms*, 13(9), 594. <https://doi.org/10.3390/axioms13090594>
- Listiyani, R., Linawati, L., & Sasongko, L. R. (2019). Analisis Proses Produksi Menggunakan Teori Antrian Secara Analitik dan Simulasi. *Jurnal Rekayasa Sistem Industri*, 8(1), 9–18. <https://doi.org/10.26593/jrsi.v8i1.3154.9-18>
- Rauca, L., Popa, C., Atodiresei, D., & Nedelcu, A. T. (2025). Port Performance and Its Influence on Vessel Operating Costs and Emissions. *Logistics*, 9(3). <https://doi.org/10.3390/logistics9030122>
- Roren, Y., Tambunan, K., & Daulay, A. N. (2025). Dampak Kualitas Pelayanan terhadap Tingkat Kepuasan Konsumen pada SPBU Tanjung Morawa. *Jurnal Manajemen Terapan Dan Keuangan (Mankeu)*, 14(03).

- Sztrik, J. (2021). *Basic Queueing Theory*.
- Taha, H. A. (2017). *Operations Research an Introduction (10th ed.)* (10th ed.). Pearson.
- Talbi, D., & Gal, Z. (2025). Integrating Reinforcement Learning into M/M/1/K Retry Queueing Models for 6G Applications. *Sensors*, 25(12). <https://doi.org/10.3390/s25123621>
- Vinicio, M. M. M., personales, A., Monge Acuña, D., Mora Morales, L., Andrés Ortega, J., & Cordero, C. (2023). *Two-Sample Kolmogorov-Smirnov Tests as Causality Test. A Narrative of Latin American Inflation from 2020 to 2022*. <https://orcid.org/0000-0003-1830-6174>
- Wahyudi, D., Yundari, & Perdana, H. (n.d.). *Analisis Sistem Antrian pada Pola Kedatangan Berkelompok di Kafe*.
- Xiong, Y. (2023). *Research and Application Analysis of the Basic Theory of Queueing Theory* (pp. 454–463). https://doi.org/10.2991/978-94-6463-300-9_46