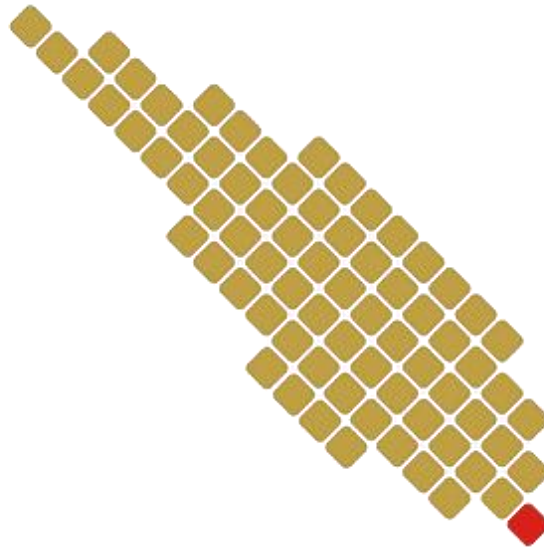


Analisis Sistem Antrean pada Jalur Pengisian Peralite Mobil Menggunakan Model M/M/1 di SPBU Sekitar ITERA

Disusun Untuk Memenuhi Tugas Besar
Mata Kuliah Pemodelan Stokastik



Oleh :

Elok Fiola	122450051
Oktavia Nurwenda Puspita S	122450041
Feryadi Yulius	122450087
Nawwaf Abdurrahman	122450018
Muhamad Randy Saputra	121450045

**PROGRAM STUDI SAINS DATA
FAKULTAS SAINS
INSTITUT TEKNOLOGI SUMATERA
2025**

ABSTRAK

Fenomena antrean pada layanan publik seperti SPBU dapat menurunkan kenyamanan dan efisiensi operasional apabila kapasitas pelayanan tidak mampu mengimbangi jumlah kedatangan kendaraan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja sistem antrean pada jalur pengisian Pertalite mobil bertangki kiri di salah satu SPBU sekitar Institut Teknologi Sumatera (ITERA). Data diperoleh melalui observasi lapangan selama tiga hari pada tiga periode waktu (pagi, siang, dan sore) dengan mencatat waktu kedatangan dan pelayanan kendaraan. Analisis dilakukan menggunakan model antrean M/M/1 untuk menghitung laju kedatangan (λ), laju pelayanan (μ), tingkat utilisasi (ρ), serta ukuran kinerja sistem seperti L_q , L_s , W_q , dan W_s . Hasil menunjukkan bahwa periode siang mengalami kondisi tidak stabil dengan nilai $\rho = 1,14$ sehingga berpotensi menimbulkan antrean panjang, sedangkan periode pagi dan sore berada dalam kondisi stabil ($\rho < 1$). Namun, antrean tetap terjadi pada sore hari akibat hambatan fisik dari jalur motor yang tidak terakomodasi oleh model. Simulasi pembandingan menggunakan model M/M/s menunjukkan bahwa penambahan satu server mampu menurunkan waktu tunggu secara signifikan, sementara penambahan lebih dari dua server tidak memberikan peningkatan berarti. Penelitian menyimpulkan bahwa satu server memadai pada kondisi normal, namun diperlukan penyesuaian jumlah server pada jam puncak untuk meningkatkan efisiensi pelayanan.

Kata Kunci : Antrean, M/M/1, SPBU, kinerja pelayanan, waktu tunggu

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI.....	3
BAB 1 PENDAHULUAN	5
1.1 Latar Belakang.....	6
1.2 RUMUSAN MASALAH	7
1.3 TUJUAN PENELITIAN	8
1.4 MANFAAT PENELITIAN	8
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	9
2.1 Proses Stokastik	9
2.2 Sistem Antrian.....	9
2.3 Komponen Utama Sistem Antrian	9
2.4 Jenis–Jenis Struktur Antrian.....	10
2.5 Model Antrian	10
2.6 Parameter dan Ukuran kinerja Sistem Antrian.....	11
2.6 Distribusi Peluang dalam Sistem Antrian	12
BAB III METODOLOGI.....	13
3.1 Jenis Penelitian.....	13
3.2 Jenis dan Teknik Pengumpulan Data	13
3.3 Variabel yang Diamati	14
BAB IV PEMBAHASAN.....	16
4.1 Hasil	16
BAB V PENUTUP.....	20
4.1 Kesimpulan	20
4.2 Saran.....	20
DAFTAR PUSTAKA.....	21

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Data Observasi Proses Pelayanan Kendaraan Mobil.....	13
Tabel 4. 1 Ringkasan Statistik Data.....	16
Tabel 4. 2 Tabel Ringkasan Parameter antrean M/M/1 per Periode Pengamatan.....	16
Tabel 4. 3 Kinerja Sistem antrean.....	17
Tabel 4. 4 Kinerja Sistem antrean Siang	18

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian	14
--	----

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia dikenal sebagai negara dengan sumber daya alam yang melimpah dan jumlah penduduk yang sangat besar. Data Badan Pusat Statistik menunjukkan bahwa populasi Indonesia meningkat dari 281,6 ribu jiwa pada tahun 2024 menjadi 284,4 ribu jiwa pada November 2025, dengan laju pertumbuhan sekitar 1,09 persen per tahun, atau hampir setara 2,8 ribu penduduk baru setiap tahunnya [1]. Dengan populasi terbesar keempat di dunia, pemerintah telah menerapkan berbagai kebijakan ekonomi untuk meningkatkan kualitas hidup dan mendorong pertumbuhan yang berkelanjutan. Dua faktor utama yang memengaruhi dinamika penduduk tersebut adalah angka kelahiran dan angka kematian. Tingkat fertilitas (TFR) yang relatif stabil menunjukkan bahwa penambahan penduduk masih berlangsung, meskipun pemerintah berupaya mengendalikan pertumbuhan melalui berbagai program kependudukan [2]. Pertumbuhan jumlah penduduk ini berdampak langsung terhadap meningkatnya kebutuhan transportasi dan penggunaan kendaraan bermotor. Seiring mobilitas masyarakat yang semakin tinggi, konsumsi bahan bakar pun meningkat sehingga Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum (SPBU) menjadi salah satu fasilitas publik yang menghadapi tekanan operasional yang signifikan [3]. Jumlah kendaraan yang terus bertambah memperbesar kemungkinan terjadinya ketidakseimbangan antara laju kedatangan pelanggan dan kapasitas pelayanan SPBU, terutama pada jam-jam sibuk. Kondisi ini sering kali memicu terbentuknya antrean panjang, penumpukan kendaraan, dan peningkatan waktu tunggu yang berdampak pada kenyamanan pengguna layanan.

Terbentuknya antrean yang panjang dapat mencerminkan rendahnya kualitas pelayanan dan berpotensi menurunkan kepuasan pelanggan [4]. Antrean merupakan sekumpulan pengguna yang harus menunggu sebelum dilayani oleh satu ataupun beberapa fasilitas pelayanan [5]. Hasil pengamatan serta analisis menggunakan metode antrean menunjukkan bahwa rata-rata waktu tunggu (*waiting time*) sangat dipengaruhi oleh rata-rata kecepatan pelayanan (*rate of service*) yang diberikan [6]. Selain karakteristik kedatangan dan pelayanan, faktor tata letak jalur kendaraan juga berperan penting dalam menentukan kelancaran antrean kendaraan mobil. Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa letak *nozzle* (pompa BBM), lebar jalur, dan pola pergerakan mobil memengaruhi waktu tunggu dan panjang antrean secara signifikan. Kendaraan yang sulit bergerak akibat jalur sempit atau posisi *nozzle* yang kurang strategis berpotensi menyebabkan penumpukan kendaraan di belakangnya [7], [8].

Selain itu, peningkatan jumlah pengguna kendaraan mobil juga berkontribusi terhadap tekanan pelayanan di SPBU. Penelitian oleh Nasir (2023) dkk. menyatakan bahwa pola antrean pada jam sibuk berbeda dari jam normal, dan kenaikan jumlah pengendara pada periode tertentu dapat memicu antrean ketika kapasitas pelayanan tidak memadai [4]. Temuan tersebut diperkuat oleh Manurung dkk. (2025), yang melaporkan bahwa lonjakan kedatangan kendaraan pada jam-jam tertentu berkontribusi langsung terhadap peningkatan

panjang antrean di SPBU [9]. Dampak antrean tidak hanya terbatas pada waktu tunggu, tetapi juga dapat mengganggu pergerakan pengguna fasilitas lain di area SPBU, sehingga penataan jalur dan tata letak yang efektif menjadi faktor penting, seperti ditunjukkan dalam penelitian Qamari *et al.* (2022) [3]. Fenomena serupa juga terjadi pada SPBU yang berlokasi di sekitar Institut Teknologi Sumatera (ITERA), di mana peningkatan kedatangan kendaraan mobil pada jam-jam yang bertepatan dengan aktivitas akademik, menyebabkan terbentuknya antrean pada jalur Paltalite khusus mobil yang hanya dilayani oleh satu *nozzle*. Kondisi tersebut menunjukkan perlunya evaluasi kapasitas pelayanan agar mampu menyesuaikan peningkatan permintaan dan mencegah penumpukan antrean. Oleh karena itu, analisis antrean digunakan untuk memperoleh pemahaman yang lebih akurat mengenai pola kedatangan kendaraan mobil dan kinerja pelayanan di SPBU [9].

Selain aspek ruang, konfigurasi jumlah *server* juga berpengaruh terhadap kinerja sistem. Kajian oleh Kama *et al.* (2018) menunjukkan bahwa variasi jumlah pelayan menghasilkan perbedaan signifikan pada populasi dalam sistem, di mana penggunaan enam *server* mampu menurunkan waktu tunggu dibandingkan tiga *server* [10]. Sementara itu, Pratama *et al.* (2022) membuktikan bahwa model M/M/1 dapat menghasilkan performa optimal pada SPBU dengan rata-rata waktu tunggu pelanggan sebesar 0,8322 menit dan waktu dalam sistem sebesar 1,1541 menit [7]. Selain itu, sebagian besar penelitian terdahulu menerapkan model antrean M/M/s yang mengasumsikan kedatangan pelanggan dan waktu pelayanan berdistribusi eksponensial. Model antrean M/M/s merupakan Sistem antrian dengan s petugas layanan (*server*) yang bekerja secara paralel dengan parameter pelayanan yang sama, sehingga kapasitas sistem meningkat seiring bertambahnya jumlah pelayan. Dalam penelitian ini, pemilihan model disesuaikan dengan kondisi lapangan, karena jalur pengisian yang diamati hanya memiliki satu *server* aktif untuk kendaraan mobil bertangki kiri. Oleh sebab itu, sistem antrean yang digunakan dikategorikan sebagai *single-channel single-phase*, yaitu hanya akan ada satu jalur masuk ke sistem antrean dan satu stasiun pelayanan, serta hanya ada satu pelayan yang tersedia. *Single channel* adalah sistem dimana setiap pelanggan akan langsung keluar dari sistem tepat setelah selesai menerima pelayanan. Sedangkan, *single phase* merujuk pada sistem antrean yang hanya memiliki satu jalur dan satu petugas layanan (*server*) [11].

Secara keseluruhan, pemilihan model antrean dilakukan untuk memastikan analisis yang sesuai dengan kondisi operasional di lapangan supaya dapat mengidentifikasi jumlah *server* yang optimal dan mengurangi panjang antrean pada jam-jam sibuk pada jalur pengisian mobil. Melalui pendekatan ini, penelitian diharapkan dapat menghasilkan evaluasi yang relevan dan menjadi dasar pertimbangan dalam upaya peningkatan meningkatkan kepuasan pelanggan serta efisiensi operasional di SPBU sekitar ITERA.

1.2 RUMUSAN MASALAH

1. Bagaimana laju kedatangan (λ) dan laju pelayanan (μ) kendaraan mobil pada jalur pengisian Paltalite melalui observasi langsung selama tiga periode waktu pengamatan?
2. Bagaimana kinerja sistem antrian menggunakan parameter tingkat utilisasi (ρ), panjang antrian rata-rata dalam sistem dan antrian (L_s dan L_q), serta waktu tunggu rata-rata dalam antrian (W_q) dan di dalam sistem (W_s) dengan model M/M/1?

3. Bagaimana tingkat efisiensi pelayanan jalur Pertalite mobil dan mengidentifikasi kebutuhan alternatif jumlah *server* berdasarkan hasil perbandingan model antrian?

1.3 TUJUAN PENELITIAN

1. Menghitung laju kedatangan (λ) dan laju pelayanan (μ) kendaraan mobil pada jalur pengisian Pertalite melalui observasi langsung selama tiga periode waktu pengamatan.
2. Menganalisis kinerja sistem antrian menggunakan parameter tingkat utilisasi (ρ), panjang antrian rata-rata dalam sistem dan antrian (L_s dan L_q), serta waktu tunggu rata-rata dalam antrian (W_q) dan di dalam sistem (W_s) dengan model M/M/1.
3. Mengevaluasi efisiensi pelayanan jalur Pertalite mobil dan mengidentifikasi kebutuhan alternatif jumlah *server* berdasarkan hasil perbandingan model antrian.

1.4 MANFAAT PENELITIAN

1. Memberikan informasi berbasis data mengenai kondisi antrian kendaraan mobil pada jalur Pertalite sehingga dapat membantu SPBU dalam meningkatkan kualitas pelayanan.
2. Memberikan masukan bagi pelanggan mengenai waktu tunggu kendaraan sehingga mereka dapat memilih waktu pengisian yang lebih efektif.
3. Menjadi referensi akademik dalam penerapan teori antrian M/M/1 pada layanan SPBU dan penelitian serupa di masa mendatang.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Proses Stokastik

Proses stokastik merupakan himpunan variabel acak yang berubah terhadap waktu dan digunakan untuk memodelkan sistem yang perilakunya tidak dapat diprediksi secara pasti [12]. Pada sistem antrian, perubahan jumlah pelanggan digambarkan sebagai proses kelahiran–kematian, di mana keadaan sistem bertambah ketika terjadi kedatangan dan berkurang ketika pelayanan selesai [13]. Model antrian M/M/1 termasuk dalam proses stokastik berbasis rantai Markov waktu-kontinu karena kedatangan pelanggan mengikuti proses Poisson dan waktu pelayanan berdistribusi eksponensial serta bersifat *memoryless* [14]. Secara praktis, pendekatan ini memungkinkan dinamika antrian dianalisis melalui parameter laju kedatangan dan laju pelayanan, sehingga M/M/1 menjadi model yang banyak digunakan dalam studi pelayanan dengan satu fasilitas, termasuk aplikasi di SPBU [15].

2.2 Sistem Antrian

Antrian merupakan kondisi ketika pelanggan harus menunggu karena kapasitas layanan tidak dapat melayani kedatangan secara langsung, sebagaimana umum terjadi pada SPBU, bank, dan fasilitas publik lainnya [16]. Teori antrian digunakan untuk menganalisis proses menunggu agar layanan dapat dikelola lebih efisien, terutama ketika kebutuhan pelayanan melebihi kapasitas yang tersedia [17]. Sistem antrian sendiri dipandang sebagai rangkaian elemen yang saling berinteraksi mulai dari kedatangan pelanggan, proses menunggu, pemberian layanan, hingga keluarnya pelanggan dari sistem [18]. Secara umum, sistem ini terdiri atas pelanggan, petugas layanan, serta aturan yang mengatur pola kedatangan dan pelayanan, dengan faktor utama yang memengaruhi kinerjanya meliputi disiplin antrian, populasi pemanggilan, laju kedatangan, dan laju pelayanan [3].

2.3 Komponen Utama Sistem Antrian

Sistem antrian terdiri atas tiga komponen utama, yaitu kedatangan, antrian, dan pelayanan [19]. Teori ini dipertegas oleh Heizer dan Render (2006) [20], bahwa antrian memiliki tiga komponen karakteristik utama, yaitu: perilaku

1. *Kedatangan (Arrival Process)*: Komponen ini berkaitan dengan sumber pelanggan yang memasuki sistem, mencakup ukuran populasi, pola serta distribusi kedatangan, dan pelanggan saat tiba di fasilitas layanan. Kedatangan dapat bersifat acak dan mengikuti distribusi statistik tertentu sehingga memengaruhi panjang antrian dan beban pelayanan.
2. *Antrian (Queue Discipline)*: Komponen ini mengatur bagaimana pelanggan menunggu giliran untuk mendapatkan layanan. Aturan yang umum digunakan meliputi
 - *First Come First Served (FCFS)*, di mana pelanggan dilayani sesuai urutan kedatangan
 - *Last Come First Served (LCFS)*, yaitu pelanggan terakhir justru dilayani terlebih dahulu

- *Service in Random Order* (SIRO), di mana pelanggan dipilih secara acak tanpa memerhatikan urutan
 - *Shortest Operation Time* (SOT), memprioritaskan pelanggan dengan waktu pelayanan tersingkat agar aliran layanan lebih cepat dan efisien.
3. Pelayanan (*Service Facility*): Komponen ini mencakup jumlah dan kapasitas petugas layanan, desain fasilitas, serta distribusi waktu pelayanan. Karakteristik pelayanan menentukan kecepatan proses hingga pelanggan keluar dari sistem, sehingga semakin besar kapasitas layanan, semakin kecil kemungkinan terjadinya penumpukan antrian.

2.4 Jenis–Jenis Struktur Antrian

Hasil telaah literatur yang dirangkum oleh Manurung dkk. (2025) menunjukkan bahwa struktur sistem antrian umumnya dikelompokkan ke dalam empat bentuk dasar yang membedakan jumlah jalur dan tahapan pelayanan dalam suatu sistem [9]. Adapun klasifikasi struktur antrian tersebut adalah sebagai berikut:

1. *Single Channel - Single Phase*: Sistem dengan satu jalur masuk dan satu tahap pelayanan, sehingga pelanggan langsung keluar setelah menerima layanan tanpa proses tambahan [21].
2. *Single Channel - Multi Phase*: Sistem dengan satu jalur antrian, tetapi pelayanan dilakukan melalui dua atau lebih tahapan yang harus dilalui secara berurutan [22].
3. *Multi Channel - Single Phase*: Sistem dengan beberapa jalur pelayanan paralel, di mana pelanggan menunggu dalam satu barisan dan dialihkan ke petugas yang tersedia untuk mempercepat waktu tunggu [23].
4. *Multi Channel - Multi Phase*: Sistem dengan lebih dari satu jalur dan beberapa tahap pelayanan, sehingga lebih kompleks karena pelanggan harus melalui beberapa proses sebelum keluar dari sistem [24].

2.5 Model Antrian

Berbagai model antrian diterapkan dalam bidang, dan terdapat empat tipe yang paling umum digunakan Manurung dkk. (2025) [9], yaitu:

1. *M/M/1 (Single Channel Queue System)*: Model yang menggambarkan sistem antrian dengan satu jalur kedatangan dan satu stasiun pelayanan, di mana seluruh pelanggan menunggu pada satu barisan untuk dilayani secara bergantian [25].
2. *M/M/S (Multiple Channel Queue System)*: Pada model ini, tersedia dua atau lebih stasiun pelayanan yang bekerja secara paralel untuk melayani pelanggan, sehingga proses pelayanan dapat dilakukan lebih cepat dibandingkan satu jalur tunggal [26].
3. *M/D/1 (Constant Service Time)*: Model ini digunakan ketika waktu pelayanan bersifat tetap atau konstan, berbeda dengan model eksponensial pada umumnya, sehingga durasi pelayanan dapat diprediksi secara pasti [27].
4. *Limited Population*: Model populasi terbatas diterapkan ketika jumlah sumber pelanggan tidak tak hingga, sehingga panjang antrian memengaruhi tingkat kedatangan karena adanya ketergantungan antara jumlah pelanggan dalam sistem dan frekuensi kedatangan [27].

2.6 Parameter dan Ukuran kinerja Sistem Antrian

Parameter penting yang harus ada dalam sistem antrean adalah laju kedatangan (λ), laju pelayanan, dan jumlah *server* (s). Ukuran kinerja system dalam system antrian meliputi tingkat utilisasi (ρ), jumlah rata-rata pelanggan dalam sistem (L_s) dan dalam antrian (L_q), hingga waktu rata-rata berada dalam sistem (W_s) dan waktu tunggu dalam antrian (W_q). Semua parameter tersebut dapat dihitung menggunakan Persamaan (1)-(8) sebagai berikut: [9], [10]

a. Laju kedatangan (λ)

$$\lambda = \frac{\text{jumlah kedatangan}}{\text{periode waktu pengamatan}} \quad (1)$$

b. Laju pelayanan (μ)

$$\mu = \frac{1}{\text{rata-rata waktu pelayanan per pelanggan}} \quad (2)$$

c. Tingkat utilisasi (ρ)

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} \quad (3)$$

jika pada model M/M/s:

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

Tingkat utilisasi (ρ) digunakan untuk mengetahui proporsi kapasitas pelayanan yang sedang digunakan dalam sistem antrean dengan s menyatakan jumlah *server* yang melayani dalam sistem. Nilai $\rho < 1$ menunjukkan bahwa sistem masih mampu melayani kedatangan pelanggan, sedangkan nilai ρ yang mendekati 1 menandakan kapasitas pelayanan hampir penuh dan peningkatan kecil pada laju kedatangan dapat menyebabkan antrean semakin panjang.

d. Jumlah rata-rata pelanggan dalam sistem (L_s)

$$L_s = \frac{\lambda \mu \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^c}{(c-1)!(c\mu - \lambda)^2} P_0 + \frac{\lambda}{\mu} \quad (5)$$

L_s menggambarkan jumlah rata-rata pelanggan yang berada dalam sistem, termasuk yang menunggu dan yang sedang dilayani. Nilai ini digunakan untuk mengetahui seberapa besar beban yang ditangani SPBU pada kondisi tertentu.

e. Waktu rata-rata pelanggan berada dalam sistem (W_s)

$$W_s = \frac{L_s}{\lambda} \quad (6)$$

W_s menunjukkan berapa lama pelanggan berada dalam sistem sejak tiba sampai selesai dilayani. Semakin besar L_s , maka waktu tinggal pelanggan juga meningkat.

f. Jumlah rata-rata pelanggan dalam antrian (L_q)

$$L_q = L_s - \frac{\lambda}{\mu} \quad (7)$$

L_q hanya menghitung pelanggan yang menunggu, tidak termasuk yang sedang dilayani. Nilai ini penting untuk mengukur panjang antrian aktual.

g. Waktu rata-rata menunggu dalam antrian (W_q)

$$W_q = \frac{L_q}{\lambda} \quad (8)$$

W_q adalah waktu tunggu sebelum pelanggan mulai dilayani. Parameter ini menjadi indikator langsung kenyamanan pelanggan.

2.6 Distribusi Peluang dalam Sistem Antrian

Pada sistem antrean, pola kedatangan pelanggan umumnya dimodelkan menggunakan distribusi Poisson karena banyaknya kejadian yang muncul dalam suatu interval waktu bersifat acak dan tidak saling bergantung satu sama lain [12]. Distribusi ini digunakan untuk menggambarkan jumlah kedatangan dalam sistem, sedangkan waktu antar kedatangan mengikuti distribusi eksponensial yang memiliki sifat *memoryless*, yaitu peluang suatu kejadian tidak dipengaruhi oleh waktu sebelumnya [13]. Pada model M/M/1, asumsi bahwa kedatangan berdistribusi Poisson dan waktu pelayanan berdistribusi eksponensial memungkinkan sistem direpresentasikan sebagai rantai Markov waktu-kontinu sehingga perubahan jumlah pelanggan dapat dianalisis melalui laju kedatangan (λ) dan laju pelayanan (μ) [14]. Penggunaan kedua distribusi ini juga banyak diterapkan dalam studi antrean dengan satu fasilitas pelayanan karena menghasilkan model yang sederhana namun mampu menggambarkan karakteristik sistem layanan secara realistis [9].

BAB III

METODOLOGI

3.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif, karena seluruh informasi yang dianalisis berupa data numerik yang diperoleh langsung melalui kegiatan observasi di lapangan. Statistik deskriptif digunakan untuk menghitung laju kedatangan kendaraan dan laju pelayanan pada jalur pengisian Pertalite mobil bertangki kiri. Pemilihan pendekatan ini memungkinkan evaluasi kinerja sistem antrian secara objektif berdasarkan parameter numerik tanpa intervensi persepsi subjektif.

3.2 Jenis dan Teknik Pengumpulan Data

Data yang digunakan merupakan data primer berbentuk data numerik, yang diperoleh dari pencatatan waktu kedatangan kendaraan mobil dan waktu pelayanan saat pengisian bahan bakar. Pengumpulan data dilakukan melalui observasi lapangan langsung di salah satu SPBU yang berlokasi tidak jauh dari kampus Institut Teknologi Sumatera (ITERA). Populasi penelitian mencakup seluruh konsumen mobil yang melakukan pengisian Pertalite bertangki kiri selama periode penelitian. Sampel yang digunakan berasal dari tiga hari pengamatan, yaitu tanggal 11–13 November 2025, dengan fokus pada jalur pengisian kendaraan mobil bertangki kiri. Waktu observasi dibagi menjadi tiga rentang pengamatan, masing-masing berdurasi dua jam, yaitu pagi (07.30–09.30 WIB), siang (11.00–13.00 WIB), sore (16.00–18.00 WIB). Pemilihan tiga periode waktu tersebut mempertimbangkan variasi pola mobilitas harian, di mana pagi menandai awal aktivitas masyarakat, siang bertepatan dengan waktu istirahat dan perjalanan singkat, serta sore menunjukkan peningkatan arus kendaraan saat masyarakat pulang beraktivitas. Seluruh data dicatat secara kontinu tanpa intervensi terhadap proses pelayanan. Data yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 3.1 berikut.

Tabel 3. 1 Data Observasi Proses Pelayanan Kendaraan Mobil

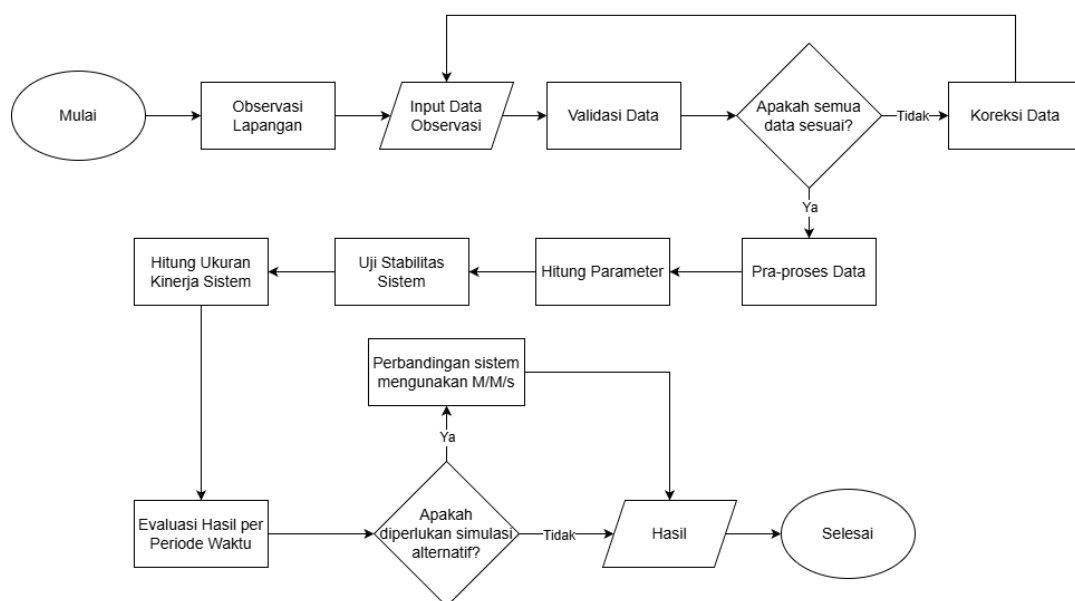
No	Kedatangan	Dilayani	Selesai
1		11/11/2025 11:00:14	11/11/2025 11:02:07
2	11/11/2025 11:04:05	11/11/2025 11:04:45	11/11/2025 11:05:03
3	11/11/2025 11:04:40	11/11/2025 11:05:18	11/11/2025 11:08:13
...
42	12/11/2025 07:30:15	12/11/2025 07:31:01	12/11/2025 07:31:34
43	12/11/2025 07:32:10	12/11/2025 07:33:15	12/11/2025 07:34:59
44	12/11/2025 07:35:20	12/11/2025 07:36:59	12/11/2025 07:37:17
...
115	13/11/2025 17:52:27	13/11/2025 17:54:59	13/11/2025 17:56:36
116	13/11/2025 17:53:07	13/11/2025 17:56:57	13/11/2025 17:57:21
117	13/11/2025 17:53:55	13/11/2025 17:58:48	13/11/2025 18:59:56
118	13/11/2025 17:56:44		
119	13/11/2025 17:57:29		
120	13/11/2025 17:59:02		
121	13/11/2025 18:00:00		

Tabel 1 menyajikan data hasil observasi berupa waktu kedatangan kendaraan, waktu mulai dilayani, dan waktu selesai pelayanan selama periode pengamatan pada tanggal 11–13 November 2025. Beberapa entri tidak memuat seluruh komponen waktu bukan karena data hilang, tetapi karena kendaraan tiba di luar rentang observasi sehingga hanya dicatat waktu pelayanan dan selesainya, atau sebaliknya ketika waktu kedatangan tercatat namun proses pelayanan terjadi setelah waktu pengamatan berakhir. Data ini selanjutnya digunakan untuk menghitung waktu antar kedatangan, waktu pelayanan, serta parameter kinerja sistem antrian pada tahap analisis. Data terdiri dari 121 baris data dan 4 kolom sehingga berdimensi 121x4. Kedatangan merepresentasikan waktu pelanggan (mobil) masuk ke sistem, kemudian waktu dilayani dicatat dari awal pelanggan dilayani, waktu dicatat kembali sebagai waktu selesai tepat setelah pelanggan selesai menerima pelayanan.

3.3 Variabel yang Diamati

Variabel utama yang diamati dalam penelitian ini meliputi parameter dasar sistem antrian, yaitu laju kedatangan kendaraan (λ), laju pelayanan (μ), tingkat utilisasi (ρ), jumlah rata-rata kendaraan dalam sistem (L_s), jumlah rata-rata kendaraan dalam antrian (L_q), waktu rata-rata berada dalam sistem (W_s), dan waktu tunggu rata-rata dalam antrian (W_q). Dalam penelitian ini, pengolahan data menggunakan model antrian M/M/1, yaitu sistem satu jalur dan satu server dengan disiplin pelayanan *First Come First Served* (FCFS) dan kapasitas antrian tidak terbatas. Model M/M/1 dipandang sebagai kasus khusus dari M/M/s dengan server (s) = 1, sehingga sesuai dengan kondisi lapangan di mana hanya terdapat satu *nozzle* aktif pada jalur Peralite pengisian mobil bertangki kiri. Selain itu, model M/M/s digunakan sebagai pembanding untuk mengevaluasi kondisi ketika sistem tidak stabil, dengan asumsi dua atau lebih server identik bekerja paralel, kedatangan berdistribusi Poisson, dan waktu pelayanan mengikuti distribusi Eksponensial.

3.2 Alur Penelitian



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

1. Observasi Lapangan menjadi tahap awal untuk mengamati kondisi nyata pada wilayah observasi dan pengambilan data observasi jalur pengisian Pertalite mobil bertangki kiri untuk mencatat pola kedatangan, waktu pelayanan, dan kondisi fisik antrian.
2. Setelah itu, data hasil pencatatan dimasukkan ke dalam format pengolahan (excel) mencakup periode pengamatan, waktu kedatangan, dan waktu pelayanan.
3. Kemudian, dilakukan pemeriksaan konsistensi dan kelengkapan data untuk memastikan tidak ada nilai kosong, duplikasi, atau pencatatan yang tidak logis.
4. Apakah semua data sesuai? Jika tidak sesuai, proses diarahkan ke koreksi data. Jika sesuai, proses dilanjutkan ke pra-proses data.
5. Proses koreksi data dilakukan terhadap kesalahan pencatatan (misalnya *typo* waktu kedatangan/pelayanan), setelah itu data divalidasi ulang sebelum melanjutkan proses.
6. Data yang sudah valid akan diolah menjadi bentuk siap analisis, seperti konversi satuan waktu ke detik, perhitungan waktu antar-kedatangan.
7. Proses menghitung parameter dasar sistem antrian meliputi λ (laju kedatangan) dan μ (laju pelayanan) berdasarkan hasil observasi tiap periode waktu dengan satu *server* (M/M/1).
8. Uji Stabilitas Sistem dilakukan dengan menghitung tingkat utilisasi $\rho = \frac{\lambda}{\mu}$ untuk menentukan apakah sistem berada dalam kondisi stabil ($\rho < 1$) atau *overload* ($\rho > 1$).
9. Selanjutnya, menghitung ukuran kinerja sistem model M/M/1, yaitu: L_s , L_q , W_s , dan W_q berdasarkan parameter λ dan μ .
10. Evaluasi hasil per periode waktu dilakukan dengan membandingkan hasil pagi, siang, dan sore untuk melihat perubahan performa sistem dan waktu paling kritis.
11. Apakah diperlukan simulasi alternatif? Jika ya, akan dilakukan perbandingan menggunakan model M/M/s untuk mengevaluasi skenario penambahan *server*.
12. Perbandingan sistem menggunakan M/M/s untuk menguji performa alternatif dengan menambah jumlah *server* ($s > 1$) untuk melihat dampaknya terhadap panjang antrian dan waktu tunggu.
13. Tahap terakhir menyajikan hasil akhir berupa parameter, kinerja sistem, dan rekomendasi operasional berdasarkan temuan.
14. Selesai merupakan tahap penutup setelah seluruh analisis dan interpretasi selesai dilakukan.

BAB IV

PEMBAHASAN

4.1 Hasil dan Pembahasan

Observasi dilakukan selama tiga hari pada jalur pengisian pertalite mobil bertengki kiri, dengan masing-masing pada tiga periode waktu yang mewakili pola mobilitas harian, yaitu pagi, siang, dan sore. Data yang dicatat mencakup waktu kedatangan kendaraan, waktu mulai dilayani, serta waktu selesai pelayanan, sehingga diperoleh gambaran yang cukup komperhensif mengenai perubahan antrean pada jam operasional yang berbeda. Sebelum ke tahap pengolahan data, mengetahui ringkasan statistik dari data sangatlah penting yang dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Ringkasan Statistik Data

Tanggal	Waktu	Jumlah Data (n)	Rata-rata Waktu antar Kedatangan (detik)	Rata-rata Waktu Pelayanan (detik)	Waktu antar Kedatangan Terpendek
11 Nov	11.00 – 13.00	36	174	207	2
12 Nov	07.30 – 09.30	42	166	133	0
13 Nov	16.00 – 18.00	32	622	178	1

Berdasarkan hasil observasi yang ada pada Tabel 4.1, jumlah kedatangan dan karakteristik waktu pelayanan pada jalur Pertalite mobil tangki kiri menunjukkan variasi antarperiode. Periode 12 November dengan jumlah data tertinggi (42 kendaraan) dengan rata-rata waktu antar kedatangan 166 detik dan waktu pelayanan tercepat yaitu 133 detik, sedangkan periode 13 November menunjukkan kedatangan paling jarang dengan rata-rata waktu kedatangan 622 detik meskipun waktu pelayanannya tetap relatif cepat. Sementara itu, periode 11 November menunjukkan kedatangan cukup padat dengan 36 data dan rata-rata pelayanan terlama yaitu 207 detik, yang berpotensi menyebabkan antrean lebih panjang dibandingkan periode lainnya.

Penelitian pada studi ini menerapkan pendekatan kuantitatif dengan menerapkan model antrean M/M/1 untuk menganalisis kinerja pelayanan pada jalur Pertalite pengisian mobil tanki kiri di SPBU. Data diperoleh melalui observasi terhadap kedatangan kendaraan dan waktu pelayanan, kemudian diolah untuk mendapatkan parameter dasar sistem antrean, yaitu laju kedatangan (λ), laju pelayanan (μ), dan tingkat utilisasi (ρ). Ringkasan hasil perhitungan parameter tersebut disajikan pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Tabel Ringkasan Parameter antrean M/M/1 per Periode Pengamatan

Tanggal	Waktu	Rata-rata Waktu antar Kedatangan (detik)	Rata-rata Waktu Pelayanan (detik)	Laju Kedatangan (λ)	Laju Pelayanan (μ)	Tingkat Utilitas (ρ)
11 Nov	11.00 – 13.00	174	207	0,00553	0,00486	1,13888

12 Nov	07.30 – 09.30	166	133	0,00604	0,00764	0,79066
13 Nov	16.00 – 18.00	622	178	0,00160	0,00569	0,28255

Berdasarkan hasil pengamatan pada jalur Pertalite pengisian mobil bertangki kiri, kinerja sistem antrean menunjukkan perbedaan pada setiap periode waktu. Pada 11 November pukul 11.00 – 13.00, laju kedatangan kendaraan sebesar 0,00553 kendaraan/detik (3,01 menit) lebih tinggi dibandingkan laju pelayanan 0,00486 kendaraan/detik (3,43 menit), sehingga menghasilkan ρ sebesar 1,14 ($\rho > 1$) yang menunjukkan bahwa laju kedatangan lebih tinggi dibandingkan kemampuan pelayanan, sehingga sistem bekerja melebihi kapasitas dan berpotensi menimbulkan penumpukan antrean pada jam pagi. Kondisi berbeda terlihat pada 12 November pukul 07.30 – 09.30, ketika laju kedatangan 0,00604 kendaraan/detik (2,76 menit) masih dapat dilayani dengan laju pelayanan 0,00764 kendaraan/detik (2,18 menit), menghasilkan nilai $\rho = 0,79$ yang menunjukkan kapasitas pelayanan berada dalam kondisi stabil, sehingga antrean lebih terkendali dibandingkan periode sebelumnya.

Sementara itu, pada 13 November pukul 16.00–18.00, laju kedatangan menurun menjadi 0,00160 kendaraan/detik (10,42 menit) dengan laju pelayanan 0,00569 kendaraan/detik (2,93 menit), sehingga diperoleh nilai $\rho = 0,28$. Secara teoritis, nilai utilisasi yang rendah ini menunjukkan bahwa kapasitas pelayanan *nozzle* mobil bertangki kiri jauh melampaui tingkat kedatangan kendaraan, sehingga peluang terbentuknya antrean di dalam jalur relatif kecil. Namun, pada periode ini secara visual justru teramati antrean yang cukup panjang di area SPBU. Hal ini disebabkan karena jalur motor yang sangat padat menghalangi mobil untuk segera masuk ke jalur pengisian mobil, sehingga banyak kendaraan sebenarnya sudah menunggu di luar sistem antrean yang dimodelkan. Dengan demikian, nilai ρ pada periode ini lebih merepresentasikan hubungan antara kedatangan mobil yang berhasil masuk jalur dan kapasitas pelayanan *nozzle*, tetapi belum sepenuhnya menangkap kepadatan kendaraan di kawasan SPBU akibat keterbatasan tata letak dan gangguan antarjalur. Selain nilai utilisasi, perhitungan parameter lainnya seperti L_s , L_q , W_s , dan W_q menghasilkan variasi kinerja sistem pada setiap periode, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 4. 3 Kinerja Sistem antrean

Periode Waktu	Kinerja Sistem antrean				
	(ρ)	L_s	L_q	W_s	W_q
11.00 – 13.00	1,13888	-8,201	-9,340	-1482,772	-1688,693
07.30 – 09.30	0,79066	3,777	2.987	625,456	494,525
16.00 – 18.00	0,28255	0,394	0,111	244,849	69,182

Berdasarkan Tabel 4.3, kinerja sistem antrean pada jalur Pertalite mobil bertangki kiri menunjukkan perbedaan yang jelas pada setiap periode pengamatan. Pada rentang waktu 11.00–13.00, nilai L_s , L_q , W_s , dan W_q bernilai negatif sehingga tidak dapat diinterpretasikan secara operasional, karena perhitungan model M/M/1 berada dalam kondisi tidak stabil dan tidak memenuhi syarat matematis $\rho < 1$. Pada periode waktu 07.30–09.30, parameter kinerja menunjukkan rata-rata sekitar empat kendaraan berada dalam sistem dan hampir tiga kendaraan menunggu, dengan waktu berada dalam sistem sekitar 10,4 menit dan waktu tunggu sekitar 8,2

menit, yang menandakan antrean nyata terbentuk meskipun pelayanan masih mampu mengimbangi kedatangan. Sementara itu, pada periode 16.00–18.00, hasil perhitungan menunjukkan kondisi pelayanan sangat lancar dengan nilai L_s dan L_q yang rendah serta waktu tunggu sekitar satu menit, namun observasi lapangan memperlihatkan antrean mobil tetap muncul akibat terhalang oleh panjangnya antrean motor yang memblokir akses masuk ke jalur pengisian, sehingga hasil model tidak sepenuhnya merepresentasikan kondisi aktual.

Tabel 4.4 Kinerja Sistem antrean Siang

Periode Waktu	11 November 2025			
	11.00 – 13.00			
Rata-rata Waktu antar Kedatangan (detik)	174	174	174	174
Rata-rata Waktu Pelayanan (detik)	206	206	206	206
Laju Kedatangan (λ)	0,00553	0,00553	0,00553	0,00553
Laju Pelayanan (μ)	0,00486	0,00486	0,00486	0,00486
Tingkat Utilitas (ρ)	1,13888	1,13888	1,13888	1,13888
Jumlah <i>Server</i>	1	2	3	4
Model	M/M/1	M/M/2	M/M/3	M/M/4
Jumlah rata-rata pelanggan dalam sistem (L_s)	-8,201	1,837	1,279	1,191
Jumlah rata-rata pelanggan dalam antrean (L_q)	-9,340	0,649	0,091	0,003
Waktu rata-rata pelanggan berada dalam sistem (W_s)	-1482,8	319,6	222,5	207,2
Waktu rata-rata menunggu dalam antrean (W_q)	-1688,7	112,8	15,7	0,4

Tabel 4.4 menyajikan pemodelan kinerja sistem antrean pada siang hari dengan jumlah *server* yang berbeda untuk melihat dampak penambahan jalur pelayanan terhadap waktu tunggu dan jumlah kendaraan dalam sistem. Pada periode 11.00–13.00, penggunaan satu *server* (M/M/1) terbukti tidak tepat karena menghasilkan nilai kinerja yang tidak stabil, ditunjukkan oleh keluaran negatif pada seluruh parameter sistem. Hal ini menegaskan bahwa satu jalur pelayanan tidak mampu menyelesaikan permasalahan waktu tunggu pada jam siang. Namun, ketika dibandingkan dengan model multi-*server*, perbaikan kinerja terlihat jelas. Penggunaan dua *server* (M/M/2) menurunkan rata-rata kendaraan dalam sistem dari nilai tidak terukur menjadi sekitar 1,84 kendaraan atau 2 kendaraan dengan waktu berada dalam sistem sebesar 319,6 detik. Model tiga *server* (M/M/3) semakin memperbaiki hasil dengan penurunan waktu menjadi 222,5 detik, sedangkan empat *server* memberikan hasil 207,2 detik namun dengan peningkatan yang relatif kecil. Temuan ini menunjukkan bahwa penambahan satu *server* sudah cukup untuk mencapai keseimbangan antara pengurangan waktu tunggu dan efisiensi operasional, sehingga menjadi pilihan yang lebih optimal dibandingkan menambah lebih banyak jalur pelayanan.

4.2 Diskusi

Hasil penelitian ini menemukan bahwa antrean pada siang hari menjadi tidak stabil karena tingkat kedatangan kendaraan lebih tinggi daripada kemampuan pelayanan, sehingga nilai utilisasi mencapai $\rho = 1,14$ dan menyebabkan antrean panjang. Kondisi ini sejalan dengan penelitian di SPBU 2536307 Sungai Bahar Unit V, yang juga menunjukkan penumpukan kendaraan pada jam sibuk dan menyarankan penambahan *server* sebagai cara untuk memperlancar aliran pelayanan [9]. Berbeda dengan temuan tersebut, studi di SPBU 54.611.30 Gresik menunjukkan bahwa sistem masih berada pada tingkat kesibukan sedang, dan perbaikan melalui simulasi dapat mengurangi waktu tunggu tanpa kondisi antrean yang terlalu berat seperti di penelitian ini [4]. Sementara itu, penelitian pada ruang makan sekolah di Owerri

menunjukkan bahwa menambah jumlah server secara bertahap mampu menurunkan waktu tunggu secara signifikan, dengan enam server menjadi pilihan paling seimbang antara kecepatan layanan dan efisiensi biaya [10]. Secara keseluruhan, perbandingan ini menguatkan bahwa penyesuaian jumlah server pada jam puncak merupakan langkah yang efektif untuk menjaga sistem tetap lancar dan mengurangi antrean.

BAB V

PENUTUP

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan, sistem antrean berhasil diterapkan menggunakan model M/M/1 pada jalur pengisian Pertalite mobil bertangki kiri di SPBU sekitar ITERA, diperoleh bahwa laju kedatangan (λ) dan laju pelayanan (μ) berbeda pada setiap periode waktu pengamatan, di mana kondisi paling padat terjadi pada siang hari sekitar pukul 11.00–13.00 WIB dengan nilai utilisasi melebihi 1 ($\rho = 1,14$) membuat sistem tidak stabil dan berpotensi menimbulkan antrean panjang. Sebaliknya, periode pagi dan sore berada dalam kondisi stabil dengan nilai utilisasi $\rho < 1$, meskipun antrean sore tetap terjadi akibat hambatan fisik dari jalur antrean motor roda dua. Selain itu, hasil pemodelan M/M/s menunjukkan bahwa penambahan satu *server* pada jam sibuk (seperti siang hari) dapat menurunkan panjang antrean dan waktu tunggu secara signifikan, sementara penambahan lebih dari dua *server* tidak memberikan peningkatan manfaat yang begitu signifikan. Dengan demikian, kapasitas satu *server* masih memadai pada jam normal, namun diperlukan penyesuaian jumlah *server* pada periode puncak untuk meningkatkan efisiensi pelayanan.

4.2 Saran

Hasil penelitian ini masih memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan. Observasi dilakukan hanya selama tiga hari dan pada tiga rentang waktu tertentu, sehingga belum mewakili variasi antrean pada hari berbeda, akhir pekan, maupun kondisi khusus lainnya. Analisis juga berfokus pada satu jalur pengisian mobil bertangki kiri dan belum memasukkan pengaruh hambatan fisik dari antrean motor yang terjadi di lapangan. Selain itu, penelitian masih menggunakan perhitungan analitis tanpa dukungan simulasi skenario. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan memperluas durasi dan waktu pengamatan, membandingkan hari kerja dan akhir pekan, serta memasukkan pengaruh faktor tata letak dan pergerakan kendaraan. Pengembangan metode melalui simulasi M/M/s atau model berbasis *software* juga dapat dilakukan untuk menghasilkan rekomendasi operasional yang lebih akurat bagi pengelola SPBU.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Pusat Statistik, “Penduduk, Laju Pertumbuhan Penduduk, Distribusi Persentase Penduduk, Kepadatan Penduduk, Rasio Jenis Kelamin Penduduk Menurut Provinsi, 2024,” 2025.
- [2] A. Wardhana, B. Kharisma, and S. Noven, “Dinamika Penduduk dan Pertumbuhan Ekonomi di Indonesia,” *Buletin Studi Ekonomi*, p. 22, Nov. 2020, doi: 10.24843/BSE.2020.v25.i01.p02.
- [3] I. Nurul Qamari and S. Trizula, “Decision of Queuing Models and Layout Design at a Gas Station,” *MIX JURNAL ILMIAH MANAJEMEN*, vol. 12, pp. 128–139, Nov. 2022, doi: 10.22441/jurnal_mix.2022.v12i1.010.
- [4] M. Nasir and D. Andesta, “Analisis Sistem Antrian Pelanggan Peralite SPBU 54.611.30 (Studi Kasus SPBU 54.611.30 Jln. Mayjend Sungkono, Prambangan, Kec. Kebomas, Kab. Gresik),” *JUSTI (Jurnal Sistem dan Teknik Industri)*, vol. 4, p. 277, Nov. 2024, doi: 10.30587/justicb.v4i2.7342.
- [5] A. W. Redi Ari Saputra Parjito Parjito, “Implementasi Metode Jackson Network Queue Pada Pemodelan Sistem Antrian Booking Pelayanan Car Wash (studi Kasus : Autoshine Car Wash Lampung),” *Jurnal Teknologi dan Sistem Informasi*, vol., 2020, doi: 10.33365/JTSI.V1I2.433.
- [6] G. Mohammad, H. Handayani, I. Ariyani, and D. E. Prasetyo, “Analisis Antrean dalam Pengoptimalan Pelayanan Puskesmas (Studi Kasus: Puskesmas Tahunan Jepara)”.
- [7] B. Pratama, F. Harlan, A. Wirawan, and A. Enggita, “Analysis on Queue System at Vitka Point Gas Station Number 14.294.722 on Motorcycle Line with Peralite-Based Fuel,” *JURNAL AKUNTANSI, EKONOMI dan MANAJEMEN BISNIS*, vol. 10, pp. 54–60, Nov. 2022, doi: 10.30871/jaemb.v10i1.4055.
- [8] R. E. Putri and W. Ismanto, “Pengaruh Perancangan Ulang Tata Letak Fasilitas di Area Operasional Kerja Berbasis 5S untuk Pengajuan Modal Usaha The Effect of Layout Facilities in the 5-Based Working Area for Submission of Business Capital,” *DIMENSI*, vol. 8, no. 1, pp. 71–89, Mar. 2019, doi: <https://doi.org/10.33373/dms.v8i1.1824>.
- [9] Y. Hans, A. Manurung, P. Roma, S. Manik, D. P. Manurung, and E. Y. Situngkir, “Analisis Antrian Pada Stasiun Bahan Bakar Umum (SPBU) 2536307 Sungai Bahar Unit V,” *Terapan Informatika Nusantara*, vol. 5, no. 8, pp. 495–502, 2025, doi: 10.47065/tin.v5i8.6020.
- [10] H. Kama, Nnanna, H. Okemiri, C. Nnamene, and K. C. Oketa, “Analysis of Queuing Model: A Case Study of Madonna Model Secondary School, Owerri,” vol. 54, p. 189, Nov. 2018.
- [11] Y. Nengsih, “Optimalisasi Antrian menggunakan Metode Single Channel Single Phrase (Studi Kasus Dr. Reksodiwiro Padang),” *Jurnal Ilmiah Perekam dan Informasi Kesehatan Imelda (JIPIKI)*, vol. 5, pp. 30–39, Nov. 2020, doi: 10.52943/jipiki.v5i1.356.
- [12] D. G. Kendall, “Stochastic processes occurring in the theory of queues and their analysis by the method of the imbedded Markov chain,” *Annals of Mathematical Statistics*, vol. 24, pp. 338–354, 1953.
- [13] S. Karlin and J. McGregor, “The classification of birth and death processes,” *Trans Am Math Soc*, vol. 86, pp. 366–400, 1957.
- [14] J. W. Cohen, *The Single Server Queue*. Amsterdam: North-Holland, 1969.
- [15] D. Gross and C. M. Harris, *Fundamentals of Queueing Theory*, 4th ed. New York: Wiley, 1998.
- [16] S. Sudarwadi, “Analisis Sistem Antrian Pada Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum Studi Kasus Pengisian Solar di (SPBU) 84-983-02 Jalan Esau Sesa Kabupaten Manokwari,” *Jurnal Maneksi*, vol. 9, no. 2, pp. 454–461, Dec. 2020, doi: 10.31959/jm.v9i2.358.

- [17] A. Grozev, M. Milchev, and M. S. Georgiev, "Study the work of specialized car service as queue theory."
- [18] M. B. Romney and P. J. Steinbart, *Accounting Information Systems*, 13th ed. England: Pearson Education Limited, 2015.
- [19] P. Prahasti, S. Sapri, and F. Utami, "Aplikasi Pelayanan Antrian Pasien Menggunakan Metode FCFS Menggunakan PHP dan MySQL," *JURNAL MEDIA INFOTAMA*, vol. 18, pp. 153–160, Nov. 2022, doi: 10.37676/jmi.v18i1.2176.
- [20] J. Heizer and B. Render, *Operation Management*, 7th ed. Jakarta: Salemba Empat, 2006.
- [21] S. R. Siregar, A. Azlan, and P. Pristiwanto, "Aplikasi Sistem Informasi Parkir Kampus Menggunakan Model Single Channel Single Phase Service," *Jurnal SAINTIKOM (Jurnal Sains Manajemen Informatika dan Komputer)*, vol. 23, no. 1, p. 171, 2024, doi: 10.53513/jis.v23i1.9607.
- [22] D. S. Cahyono, R. Tri Vlandari, B. Widada, and A. Kusumaningrum, "Sistem Pemesanan Tempat di Janti Park dengan Metode Single Channel-Multi Phase," *Jurnal TIKomSiN*, vol. 12, no. 1, 2024.
- [23] D. Wiranda, "Analisis Sistem Antrian Layanan Teller dengan Menggunakan Metode Multi Channel-Single Phase (M/M/S) untuk Mengoptimalkan Pelayanan," *Jurnal Riset Manajemen dan Bisnis*, pp. 71–80, 2022, doi: 10.29313/jrmb.v2i2.1633.
- [24] M. A. Meizalina, E. Ermatita, and A. Ibrahim, "Pemodelan dan Simulasi Daftar Ulang PPDB pada Sekolah Menengah Atas dengan Metode Multiple Channels Single Phase (M/M/1)," *ZONasi: Jurnal Sistem Informasi*, vol. 6, no. 3, pp. 562–571, 2024, doi: 10.31849/zn.v6i3.21788.
- [25] M. I. Ats-Tsauri, A. F. Siddik, and T. N. Wiyatno, "Optimisasi Sistem Antrian di Era Pandemi untuk Meningkatkan Kinerja Pelayanan Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum (SPBU)," *Jurnal Teknik Industri*, vol. 3, no. 1, pp. 33–37, 2022, doi: 10.37366/jutin0301.3337.
- [26] R. Budiman, D. Hatidja, M. S. Paendong, K. Kunci, and A. J. Berganda, "Analisis Sistem Antrian di PT. Bank Negara Indonesia (Persero) Tbk. Kantor Cabang Manado Sistem Antrian Multi Channel Query System," *Jurnal Matematika dan Aplikasi*, vol. 9, no. 1, pp. 8–15, 2020.
- [27] A. A. D. Cahyo and H. Sya'rawi, "Metode Antrian guna Meningkatkan Layanan Distribusi pada CV Sarana Prima Lestari Banjarmasin," *BIMA: Jurnal Bisnis dan Manajemen*, vol. 1, no. 2, pp. 82–90, 2022.