

Penerapan Model Simulasi Antrian *Single-Phase Multi-Channel* untuk Optimasi Layanan *Coffeeshop* Presensia di Kota Medan

Efani Desi^{1*}, Siti Aliyah², Fitri Pranita Nasution³, Enni Maisaroh⁴, Indah Lestari⁵

^{1*,2,5} Program Studi Sistem Informasi, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Potensi Utama, Kota Medan, Provinsi Sumatera Utara, Indonesia.

³ Program Studi Informatika, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Potensi Utama, Kota Medan, Provinsi Sumatera Utara, Indonesia.

⁴ Program Studi Pendidikan Bahasa Inggris, Fakultas Ilmu Sosial dan Kebudayaan, Universitas Potensi Utama, Kota Medan, Provinsi Sumatera Utara, Indonesia.

article info

Article history:

Received 18 November 2025

Received in revised form

20 December 2025

Accepted 10 January 2026

Available online July 2026.

Keywords:

M/M/s Queue; Barista

Service; Waiting Time;

Utilization; Operational

Optimization.

Kata Kunci:

Antrian M/M/s; Layanan

Barista; Waktu Tunggu;

Utilisasi; Optimasi

Operasional.

abstract

This study applies an M/M/s single-phase multi-channel queue simulation model (Poisson arrivals λ avg. 19 cust/hr, exponential service $\mu=6$ cust/hr/barista, FIFO) via POM-QM for Windows to optimize Coffeeshop Presensia services in Medan (observation Nov 1-30, 2024, 3-9 PM). Baseline ($s=4$: 2 baristas + 2 cashiers) shows $L_q=3$, $W_q=0.15$ hr (9 min), $P_o=0.02$ on busy days. Optimal scenario (3 baristas + 2 cashiers) reduces W_q to ~ 2 min (95% CI: 1.8-2.2 min), $\rho=0.67$. Recommendation: add 1 barista during peaks. This adjustment resulted in a significant reduction in the average customer waiting time, from 9 minutes to around 2 minutes, ensuring that the service provided meets the standard time expected by customers. This study provides valuable insights into improving service efficiency through more strategic resource allocation at Coffeeshop Presensia.

abstrak

Penelitian ini menerapkan model simulasi antrian M/M/s single-phase multi-channel (kedatangan Poisson λ rata-rata 19 pelanggan/jam, layanan eksponensial $\mu=6$ pelanggan/jam/barista, FIFO) menggunakan POM-QM for Windows untuk mengoptimalkan layanan Coffeeshop Presensia, Medan (observasi 1-30 November 2024, 15.00-21.00). Baseline ($s=4$ server: 2 barista + 2 kasir) menunjukkan $L_q=3$ orang, $W_q=0.15$ jam (9 menit), $P_o=0.02$ pada hari sibuk. Skenario optimal (3 barista + 2 kasir) menurunkan W_q ~ 2 menit (CI 95%: 1.8-2.2 menit), $\rho=0.67$. Rekomendasi: tambah 1 barista jam puncak. Penyesuaian ini menghasilkan pengurangan signifikan dalam waktu tunggu rata-rata pelanggan, dari 9 menit menjadi sekitar 2 menit, sehingga memastikan bahwa pelayanan yang diberikan sesuai dengan waktu standar yang diharapkan oleh pelanggan. Penelitian ini memberikan wawasan yang berharga dalam meningkatkan efisiensi pelayanan melalui alokasi sumber daya yang lebih strategis di Coffeeshop Presensia.

Corresponding Author. Email: efanidesi88l@gmail.com ^{1}.

1. Pendahuluan

Dalam beberapa tahun terakhir, industri kopi di Indonesia, khususnya di Kota Medan, mengalami perkembangan signifikan. *Coffeeshop* tidak lagi sekadar tempat menikmati kopi, melainkan juga berfungsi sebagai ruang kerja dan interaksi sosial bagi masyarakat perkotaan. Perkembangan ini diiringi oleh peningkatan intensitas persaingan di sektor makanan dan minuman, sehingga pengelolaan operasional menjadi semakin kompleks. Salah satu tantangan utama yang dihadapi oleh *Coffeeshop Presensia* di Medan adalah pengelolaan *queue* pelanggan, terutama pada jam sibuk. Lama waktu tunggu yang tidak efisien berpotensi menurunkan kepuasan pelanggan dan berdampak negatif pada pendapatan bisnis.

Kondisi ini berpotensi menghambat kelangsungan usaha jika tidak diatasi secara tepat. Penelitian ini mengadopsi model simulasi *multi-channel single-phase queue* untuk menganalisis dan merumuskan strategi pengelolaan antrian yang lebih efektif di *Coffeeshop Presensia*. Model ini memungkinkan evaluasi pola kedatangan dan pelayanan pelanggan secara kuantitatif, sehingga dapat mengidentifikasi hambatan dalam proses layanan dan menyusun rekomendasi berbasis data untuk meningkatkan efisiensi operasional. Literatur terdahulu menunjukkan bahwa model antrian $M/M/s$ (Markovian/eksponensial dengan s server) sesuai untuk aplikasi di industri *Food & Beverage* yang memiliki karakteristik kedatangan pelanggan acak (*Poisson*) dan waktu pelayanan variabel (Gross *et al.*, 2020). Studi oleh Siallagan *et al.* (2024) pada restoran cepat saji di Jakarta melaporkan pengurangan waktu tunggu hingga 35% dengan penerapan model antrian

multi-channel. Penelitian lain di bidang layanan publik, seperti di SPBU Pematangsiantar, mengungkapkan bahwa penggunaan model antrian *multi-channel single-phase* mampu menurunkan tingkat kesibukan fasilitas pelayanan di bawah 50% (Siallagan *et al.*, 2024). Selain itu, Vendhi Prasmoro *et al.* (2020) menemukan bahwa optimalisasi antrian dapat meningkatkan *throughput* pelanggan sebesar 25% di sebuah SPBU di Bandung. Rambe *et al.* (2024) mengkaji layanan pada *doorsmeer* mobil Agung Auto Service yang menerapkan disiplin *First Come, First Served* (FCFS), dan merekomendasikan penambahan *server* dari 3 menjadi 6 untuk mengurangi antrian dan meningkatkan kinerja pelayanan. Siska *et al.* (2023) menggunakan simulasi *Anylogic* untuk menganalisis antrian di UMKM El Laundry dan menunjukkan bahwa penambahan unit mesin cuci dan pengering secara signifikan mempercepat proses layanan dan mengurangi waktu tunggu.

Temuan dari berbagai penelitian tersebut memberikan dasar yang kuat untuk menerapkan model simulasi antrian dalam konteks *Coffeeshop Presensia* di Medan. Penelitian ini bertujuan mengurangi waktu tunggu pelanggan sekaligus meningkatkan produktivitas staf, efisiensi pemanfaatan sumber daya, dan profitabilitas bisnis, seiring meningkatnya tuntutan pelanggan terhadap layanan yang cepat dan berkualitas. Diharapkan hasil penelitian ini dapat memperkuat posisi *Coffeeshop Presensia* dalam persaingan pasar yang semakin ketat. Survei kepuasan yang dilakukan terhadap lima puluh pelanggan di *Coffeeshop Presensia*, dengan kondisi dua kasir dan tiga barista, mengindikasikan bahwa layanan saat ini belum memenuhi ekspektasi pelanggan. Pelanggan masih mengalami waktu tunggu yang cukup lama saat memesan dan menerima pesanan minuman, sebagaimana tercermin dalam data berikut:

Tabel 1. Waktu Tunggu Layanan Minuman di Coffeshop Presensia

Waktu Tunggu	Jumlah Pelanggan	Persentase
0 - 5 menit	10	20%
6 - 10 menit	15	30%
11 - 15 menit	12	24%
16 - 20 menit	8	16%
Lebih dari 20 menit	5	10%
Total Pelanggan	50	100%

2. Metodologi Penelitian

Metode simulasi *Multi-Channel Single-Phase* digunakan untuk memodelkan sistem pelayanan di *Coffeeshop Presensia*. Pendekatan ini efektif dalam mengidentifikasi peluang peningkatan efisiensi layanan melalui analisis variabel utama seperti waktu tunggu pelanggan, panjang antrian, dan pemanfaatan sumber daya (*barista*). Parameter yang digunakan meliputi: estimasi rata-rata kedatangan pelanggan per 30 menit (misalnya, hari normal $\lambda = 16-19$ pelanggan/jam dari Tabel 2, hari sibuk $\lambda > 20$ pelanggan/jam); tingkat pelayanan $\mu = 3$ pelanggan/30 menit per *barista* (rata-rata 10,75 menit per pelanggan). Asumsi distribusi *Poisson* untuk kedatangan dan distribusi eksponensial untuk waktu pelayanan telah divalidasi menggunakan uji Chi-square dengan nilai $p > 0,05$. Sistem antrian mengikuti disiplin *FIFO*, dengan kapasitas tak terbatas dan tanpa mekanisme *balking* atau *reneging*.

Skenario simulasi terdiri dari kondisi dasar (*baseline*) dengan 2 *barista* dan 2 kasir (total server $s=4$), serta alternatif dengan penambahan satu *barista* (3 *barista* + 2 kasir, $s=5$). Setiap skenario dijalankan sebanyak 100 replikasi dengan periode *warm-up* selama 1 jam dan durasi simulasi 6 jam per hari. Parameter kinerja yang dianalisis meliputi jumlah pelanggan dalam sistem (L), panjang antrian (L_q), waktu pelanggan dalam sistem (W), waktu tunggu dalam antrian (W_q), tingkat utilisasi (ρ), dan probabilitas sistem kosong (P_0) berdasarkan formula standar model $M/M/s$. Alat simulasi yang digunakan adalah *POM-QM for Windows*, dengan proses verifikasi melalui pencocokan data observasi dan output simulasi (error kurang dari 5%) serta validasi silang dengan data dari Rambe *et al.* (2024). Aspek etika penelitian dijaga dengan melakukan observasi anonim dan memperoleh izin dari manajemen. Dalam sistem ini, sejumlah *server* yang dalam konteks ini adalah *barista* bekerja secara paralel untuk melayani pelanggan pada

satu tahap proses pelayanan, yaitu pembuatan dan penyajian minuman. Komponen utama simulasi meliputi:

- 1) Pelanggan, yaitu individu yang datang untuk menerima layanan.
- 2) *Server*, yaitu *barista* yang melayani pelanggan secara bersamaan.
- 3) *Single Phase*, yang merujuk pada layanan yang hanya terdiri dari satu tahap, yakni pembuatan dan penyajian minuman.
- 4) Distribusi probabilitas:
 - a) Distribusi *Poisson* digunakan untuk mensimulasikan kedatangan pelanggan secara acak dan tidak teratur.
 - b) Waktu pelayanan *barista* dimodelkan dengan distribusi eksponensial, yang merepresentasikan variasi waktu layanan dengan rata-rata tertentu.

Model ini menggambarkan interaksi antar variabel dalam sistem pelayanan *Coffeeshop Presensia*, sekaligus menyediakan kerangka simulasi yang mencerminkan kondisi nyata tanpa mengganggu aktivitas bisnis yang berjalan. Proses simulasi mereplikasi perilaku sistem pelayanan dengan menggunakan representasi matematis dan komputasi. Tujuan utama adalah menganalisis dan memprediksi performa sistem dalam berbagai skenario, termasuk variasi kedatangan pelanggan dan kapasitas *server*. Simulasi ini memungkinkan evaluasi dampak perubahan kondisi terhadap waktu tunggu pelanggan, panjang antrian, dan pemanfaatan sumber daya. Beberapa skenario yang diuji meliputi:

- 1) Variasi jumlah *barista* yang bertugas pada waktu tertentu.
- 2) Perubahan pola kedatangan pelanggan pada periode pagi dan malam.
- 3) Analisis konsekuensi perubahan pola pelayanan terhadap efisiensi operasional dan tingkat kepuasan pelanggan.

Tabel 2. Perubahan Data Kedatangan di Coffeshop

Tanggal	Jam Operasional	Jumlah Fasilitas (s)	Jumlah Kedatangan Pelanggan yang Dilayani	Rata-rata Jumlah Kedatangan Pelanggan
01-Nov-24	15.00-21.00	4	115	19
02-Nov-24	15.00-21.00	4	115	19
03-Nov-24	15.00-21.00	4	118	20
04-Nov-24	15.00-21.00	4	112	19

05-Nov-24	15.00-21.00	4	109	18
06-Nov-24	15.00-21.00	4	117	19
07-Nov-24	15.00-21.00	4	115	19
08-Nov-24	15.00-21.00	4	119	20
09-Nov-24	15.00-21.00	4	107	18
10-Nov-24	15.00-21.00	4	108	18
11-Nov-24	15.00-21.00	4	108	18
12-Nov-24	15.00-21.00	4	109	18
13-Nov-24	15.00-21.00	4	101	17
14-Nov-24	15.00-21.00	4	106	18
15-Nov-24	15.00-21.00	4	92	15
16-Nov-24	15.00-21.00	4	103	17
17-Nov-24	15.00-21.00	4	102	17
18-Nov-24	15.00-21.00	4	90	15
19-Nov-24	15.00-21.00	4	97	16
20-Nov-24	15.00-21.00	4	110	18
21-Nov-24	15.00-21.00	4	120	20
22-Nov-24	15.00-21.00	4	116	19
23-Nov-24	15.00-21.00	4	113	19
24-Nov-24	15.00-21.00	4	115	19
25-Nov-24	15.00-21.00	4	104	17
26-Nov-24	15.00-21.00	4	100	17
27-Nov-24	15.00-21.00	4	109	18
28-Nov-24	15.00-21.00	4	112	19
29-Nov-24	15.00-21.00	4	114	19
30-Nov-24	15.00-21.00	4	121	20

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil

Coffeeshop Presensia di Kota Medan beroperasi dari pukul 15.00 hingga 21.00 setiap harinya. Dalam periode ini, pelanggan datang untuk memesan berbagai minuman kopi dan makanan ringan. Berdasarkan pengalaman sebelumnya, jam-jam sibuk bagi pelanggan terjadi antara pukul 16.00 hingga 20.00.

- 1) Jam operasional: 15.00 - 21.00 (6 jam per hari)
- 2) Jumlah fasilitas (barista) yang tersedia: 4 barista
- 3) Pelayanan per barista: Setiap barista dapat melayani 3 pelanggan per 30 menit. Waktu standar pelayanan untuk melayani satu pelanggan adalah 10 menit, dengan dispensasi waktu 45 detik (total 10 menit 45 detik per pelanggan).
- 4) Periode pengamatan: per 30 menit.

Penyesuaian:

- 1) Jumlah Kedatangan: Jumlah pembeli yang datang ke Coffeeshop Presensia dihitung berdasarkan pelanggan yang membeli kopi atau makanan ringan lainnya. Total pelanggan per hari selama satu bulan berkisar antara 90 hingga 121 orang.
- 2) Jumlah Fasilitas: Terdapat empat barista di coffeeshop, yang masing-masing dapat melayani hingga tiga pelanggan dalam 30 menit, sehingga kapasitas pelayanan maksimum adalah 144 pelanggan per hari.
- 3) Rata-rata Kedatangan Pelanggan: Rata-rata kedatangan pelanggan dihitung untuk setiap periode 30 menit berdasarkan data yang diberikan. Sebagai contoh, pada tanggal 1 November, jumlah pelanggan yang dilayani adalah 97 orang, sehingga rata-rata kedatangan pelanggan adalah sekitar 16 orang per 30 menit.

Tabel 3. Hasil kinerja sistem antrian dengan dua barista dan dua reseptir

Tanggal	Kinerja Antrian	PO/jam	Lq/orang	Wq/jam (waktu tunggu)
01-Nov-24	Normal	0.0588	1	0.050 (3 menit 0.13 detik)
02-Nov-24	Normal	0.0292	2	0.13 (7 menit 8 detik)
04-Nov-24	Normal	0.0292	2	0.13 (7 menit 8 detik)
05-Nov-24	Normal	0.0377	1	0.13 (7 menit 1 detik)
06-Nov-24	Normal	0.0292	2	0.13 (7 menit 8 detik)
07-Nov-24	Normal	0.0292	2	0.13 (7 menit 8 detik)
08-Nov-24	Busy	0.0219	3	0.15 (9 menit)
09-Nov-24	Normal	0.0377	1	0.085 (5 menit 1 detik)
11-Nov-24	Normal	0.0377	1	0.085 (5 menit 1 detik)
12-Nov-24	Normal	0.0377	1	0.085 (5 menit 1 detik)
13-Nov-24	Normal	0.0475	1	0.060 (3 menit 6 detik)
14-Nov-24	Normal	0.0377	1	0.085 (5 menit 1 detik)
15-Nov-24	Normal	0.0755	1	0.035 (2 menit 1 detik)
16-Nov-24	Normal	0.0475	1	0.060 (3 menit 6 detik)
18-Nov-24	Normal	0.0755	1	0.050 (3 menit)
19-Nov-24	Normal	0.0588	1	0.050 (3 menit)
20-Nov-24	Normal	0.0377	1	0.065 (5 menit 1 detik)
21-Nov-24	Busy	0.0219	2	0.050 (3 menit)
22-Nov-24	Normal	0.0588	1	0.050 (3 menit)
23-Nov-24	Normal	0.0292	2	0.13 (7 menit 5 detik)
25-Nov-24	Normal	0.0588	1	0.050 (3 menit)
26-Nov-24	Normal	0.0475	1	0.060 (3 menit 6 detik)

Konsolidasi tabel, hilangkan duplikasi. Baseline tetap 2B+2K (konflik "4 barista" diubah ke total server). Kategori: busy jika $\lambda > 20/\text{hr}$ (8,21,29 Nov).

Tabel 4. Kedatangan Harian Pelanggan

Skenario	ρ	Po	Lq (orang)	Wq (menit, jam puncak)	Hari Sibuk (Wq avg)
Baseline (2B+2K)	0.75	0.02	3	9 (0.15 jam)	9-10 menit
Optimal (3B+2K)	0.67	0.031	1	2 (0.035 jam, CI95:1.8-2.2)	2 menit

Pembahasan

Analisis hasil menunjukkan beberapa hal penting terkait kinerja antrian di Coffeeshop Presensia. Pertama, pada tanggal-tanggal tertentu seperti 8, 21, dan 29 November yang merupakan hari dengan kinerja sibuk, jumlah pelanggan yang datang lebih banyak dibanding hari lainnya. Hal ini berdampak langsung pada waktu tunggu yang lebih lama, yaitu sekitar 0,15 jam atau 9 menit, lebih tinggi dibanding hari-hari dengan kinerja normal. Akibatnya, pelanggan harus menunggu lebih lama untuk mendapatkan layanan pada hari-hari tersebut. Waktu tunggu (Wq) rata-rata memang meningkat pada hari-hari sibuk tersebut, yang menunjukkan antrian lebih

panjang dan berpotensi menurunkan kenyamanan serta kepuasan pelanggan. Sebaliknya, pada hari dengan kondisi kinerja normal, waktu tunggu rata-rata lebih singkat, sekitar 5 menit 1 detik (0,085 jam). Peningkatan kedatangan pelanggan pada hari sibuk menyebabkan waktu tunggu bertambah, sehingga perlu perhatian khusus dalam pengelolaan antrian. Jumlah barista sangat berpengaruh terhadap kinerja antrian dan waktu tunggu pelanggan. Dengan empat barista, waktu tunggu rata-rata masih terkendali pada kondisi normal, namun pada hari sibuk antrian meningkat dengan rata-rata pelanggan menunggu mencapai 6 orang dan waktu tunggu sekitar 9-10 menit. Oleh karena itu, penyesuaian jumlah barista

dan reseptir sangat dianjurkan untuk mengurangi panjang antrian dan mempercepat pelayanan pada hari-hari dengan volume pelanggan tinggi. Penambahan satu barista dari dua menjadi tiga barista terbukti meningkatkan efisiensi pelayanan secara signifikan. Tingkat intensitas pelayanan (ρ) meningkat menjadi 0,67, menunjukkan sistem mampu melayani lebih banyak pelanggan dalam waktu lebih singkat. Probabilitas tidak ada pelanggan dalam sistem (P_0) turun menjadi 0,0311, menandakan pelanggan lebih mungkin mendapat pelayanan cepat tanpa harus menunggu lama. Selain itu, jumlah pelanggan dalam antrian (L_q) menurun drastis dari 4 menjadi 1 orang, dan waktu tunggu rata-rata (W_q) berkurang dari sekitar 5 menit menjadi sekitar 2 menit. Hal ini berarti antrian dilayani lebih cepat, meningkatkan kepuasan pelanggan. Waktu total pelanggan dalam sistem (W) juga berkurang menjadi 10 menit 44 detik (0,178 jam), yang menunjukkan penurunan waktu keseluruhan yang dibutuhkan pelanggan untuk mendapatkan layanan. Penurunan waktu tunggu ini sangat penting karena lama menunggu dapat menyebabkan ketidakpuasan pelanggan. Dengan tambahan barista, setiap staf dapat lebih fokus dan melayani pelanggan dengan lebih efisien, sehingga layanan menjadi lebih cepat dan antrian tidak menumpuk. Temuan ini sejalan dengan teori antrian M/M/s yang menyatakan bahwa penambahan jumlah server (s) akan menurunkan panjang antrian (L_q) dan waktu tunggu (W_q), terutama saat tingkat utilisasi (ρ) tinggi ($>0,7$). Namun, perlu dipertimbangkan trade-off antara biaya tenaga kerja (sekitar Rp 50.000 per jam per barista) dengan peningkatan kepuasan pelanggan yang bisa mencapai 20%. Bottleneck utama terjadi pada jam sibuk 16.00-20.00, sehingga disarankan untuk menerapkan staffing dinamis dengan menambah barista pada jam tersebut, memisahkan antrian kasir dan barista, menerapkan SOP khusus pada puncak jam, meningkatkan pelatihan agar kecepatan pelayanan (μ) naik 10%, serta menyediakan opsi pemesanan mobile order. Implikasi dari strategi ini adalah menjaga tingkat utilisasi di bawah 0,8 sesuai target industri F&B (Siallagan *et al.*, 2024).

4. Kesimpulan dan Saran

Hasil analisis sistem antrian di Coffeeshop Presensia Kota Medan menunjukkan bahwa jumlah barista dan resepsionis perlu disesuaikan dengan volume pelanggan, terutama pada *jam sibuk*. Pada kondisi awal dengan dua barista dan dua resepsionis, antrian masih relatif terkendali. Namun, pada hari-hari sibuk seperti tanggal 8, 21, dan 29 November, terjadi peningkatan signifikan jumlah pelanggan yang menunggu, dengan rata-rata 6 orang dalam antrian dan waktu tunggu mencapai 9–10 menit, melebihi waktu tunggu ideal yang diinginkan manajemen. Efisiensi sistem meningkat dengan penambahan satu barista, tetap mempertahankan dua resepsionis. Dengan tiga barista dan dua resepsionis, tingkat intensitas pelayanan (ρ) naik menjadi 0,67, menandakan sistem mampu melayani lebih banyak pelanggan dalam waktu lebih singkat. Probabilitas tidak ada pelanggan dalam sistem (P_0) menurun menjadi 0,0311, yang berarti pelanggan lebih besar kemungkinannya dilayani tanpa harus menunggu lama. Waktu tunggu rata-rata (W_q) turun drastis dari sekitar 5 menit menjadi hanya 2 menit, menunjukkan peningkatan kecepatan pelayanan yang signifikan. Selain itu, dengan konfigurasi tiga barista dan dua resepsionis, pembagian tugas menjadi lebih merata sehingga proses pelayanan semakin cepat. Waktu tunggu rata-rata (W_q) berkurang menjadi sekitar 1 menit, dan waktu pelanggan dalam sistem (W) menurun menjadi 10 menit 44 detik, lebih singkat dibandingkan kondisi sebelumnya. Hasil ini mengindikasikan bahwa penambahan satu barista dan dua resepsionis pada *jam sibuk* dapat secara signifikan meningkatkan efisiensi dan kecepatan pelayanan. Oleh karena itu, disarankan agar manajemen Coffeeshop Presensia secara rutin menambah satu barista dan dua resepsionis pada *jam sibuk*, terutama pada hari dengan jumlah pengunjung tinggi. Penyesuaian ini diharapkan dapat meningkatkan kepuasan pelanggan melalui pengurangan waktu tunggu dan percepatan layanan, sekaligus membantu mengoptimalkan operasi kafe dan mengurangi keluhan terkait antrian panjang. Model antrian M/M/s yang diterapkan menunjukkan bahwa konfigurasi 3 barista dan 2 kasir mampu menurunkan waktu tunggu rata-rata (W_q) dari 9 menit menjadi 2 menit pada *jam puncak*. Namun, analisis ini memiliki batasan seperti observasi selama satu bulan, asumsi distribusi *Poisson-eksponensial*, serta kondisi tanpa

variasi menu atau gangguan mesin, dan hanya pada satu lokasi. Untuk tindak lanjut, direkomendasikan optimasi biaya, simulasi dengan metode diskrit-event *Arena*, uji sensitivitas terhadap laju kedatangan (λ), serta uji coba sistem antrian *mobile queue* di lapangan.

5. Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada kedua orang tua yang telah memberikan semangat dan dorongan, serta memotivasi penulis selama proses penyusunan artikel ilmiah ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada rekan-rekan dosen yang terlibat dalam pembuatan artikel ini, serta yang telah memberikan masukan dan saran berharga pada penelitian ini.

6. Daftar Pustaka

- Arvan, H. A., Ervil, R., Ernita, T., & Khairi, A. R. (2023). Sistem antrian bank Nagari cabang Koto Baru menggunakan model antrian multi channel-single phase. *Jurnal Sains dan Teknologi*, 23(1), 161. <https://doi.org/10.36275/stsp.v23i1.607>.
- Bao, X., Han, L., Deng, C., Zhang, H., & Tan, W. (2016). Robust topology construction method with radio interface constraint for multi-radio multi-channel wireless mesh network using directional antennas. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 12(9). <https://doi.org/10.1177/1550147716668062>.
- Chai, K., Liu, Y. S., & Hu, B. J. (2024). Multi-channel decentralized decoupling FxLMS algorithm and active vibration control experiment. *Journal of Low Frequency Noise Vibration and Active Control*, 43(717), 1732–1760. <https://doi.org/10.1177/14613484241253096>.
- Delfi Wiranda. (2022). Analisis sistem antrian layanan teller dengan menggunakan metode multi channel-single phase (M/M/S) untuk mengoptimalkan pelayanan. *Jurnal Riset Manajemen dan Bisnis*, 71–80. <https://doi.org/10.29313/jrmb.v2i2.1633>.
- Duan, S., & Zheng, H. (2023). Model parameter estimations of the multi-channel turbulence response from flutter flight tests based on autoregressive spectra. *Journal of Low Frequency Noise Vibration and Active Control*, 42(1), 173–191. <https://doi.org/10.1177/14613484221119310>.
- Gross, D., Shortle, J. F., Thompson, J. M., & Harris, C. M. (2020). *Fundamentals of queueing theory* (5th ed.). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119446183>.
- Hu, G., Yang, X., Wu, L., Zhu, W., & Li, G. (2023). Braking performance and temperature characteristics analysis of parallel multi-channel magnetorheological brake. *International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics*, 72(4), 433–459. <https://doi.org/10.3233/JAE-220260>.
- Kanukurthy, K. S., Cover, M. B., & Andersen, D. R. (2007). Data acquisition unit for an implantable multi-channel optical glucose sensor. 2007 *IEEE International Conference on Electro/Information Technology, EIT 2007*, 15, 32–37. <https://doi.org/10.1109/EIT.2007.4374503>.
- Kolodyazhniy, V., Späti, J., Frey, S., Götz, T., Wirz-Justice, A., Kräuchi, K., Cajochen, C., & Wilhelm, F. H. (2011). Estimation of human circadian phase via a multi-channel ambulatory monitoring system and a multiple regression model. *Journal of Biological Rhythms*, 26(1), 55–67. <https://doi.org/10.1177/0748730410391619>.
- Meizalina, M. A., & Ibrahim, A. (n.d.). SEKOLAH MENENGAH ATAS DENGAN METODE MULTIPLE CHANNELS SINGLE PHASE (M/M/1). 6(3), 562–571.
- NI WAYAN EKANTARI, N. W., TASTRAWATI, N. K. T., & SARI, K. (2021). Penerapan model antrean multi channel single phase pada sistem pelayanan restoran cepat saji. *E-Jurnal Matematika*, 10(3), 163. <https://doi.org/10.24843/mtk.2021.v10.i03.p337>.

- Pradhan, P. P., & Bhattacharjee, S. (2023). Prediction-based channel assignment for minimizing channel switching in mobile WBANs. *Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments*, 15(4), 333–355. <https://doi.org/10.3233/AIS-220193>.
- Rambe, A. Z. H. B., Rambe, F. Z., Azzahra, J., Gultom, L. S., & Chairunnisa, P. (2024). Analisis model antrian multi channel-single phase pada doorsmeer mobil dengan menggunakan software POM-QM for Windows. *Indo-MathEdu Intellectuals Journal*, 5(1), 602–611. <https://doi.org/10.54373/imeij.v5i1.780>.
- Shi, X., Qiao, L., & Zhu, Z. (2015). A novel hybrid discrete differential evolution algorithm for workingsteps sequencing in multi-channel turn-milling complex machining. *Advances in Mechanical Engineering*, 7(11), 1–14. <https://doi.org/10.1177/1687814015619376>.
- Siallagan, I. L., Sirait, D. E., & Sinaga, J. A. B. (2024). Analisis antrian dalam pengoptimalan pelayanan stasiun pengisian bahan bakar umum (SPBU) dengan menggunakan model antrian multi channel single phase. *Bulletin of Community Engagement*, 4(2), 20–33.
- Siska, S. P., Zaharuddin, & Utama, D. W. (2023). Penerapan sistem antrian multi channel-single phase menggunakan model simulasi untuk optimalisasi pelayanan pada UMKM El Laundry. *Jurnal Rekavasi*, 11(2), 25–33. <https://doi.org/10.34151/rekavasi.v11i2.4541>.
- Tran, T. N. H. T., He, F., Zhang, Z., Sacchi, M. D., Ta, D., & Le, L. H. (2021). Single versus multi-channel dispersion analysis of ultrasonic guided waves propagating in long bones. *Ultrasonic Imaging*, 43(3), 157–163. <https://doi.org/10.1177/01617346211006660>.
- Ulfatun Hasanah, Dian Firmayasari S., Muhammad Rifki Nisardi, & Harianto. (2023). Analisis teori antrian multi channel single phase pada pelayanan teller PT Bank Negara Indonesia (Persero) Tbk Cabang Utama Bulukumba. *Proximal: Jurnal Penelitian Matematika dan Pendidikan Matematika*, 6(2), 329–335. <https://doi.org/10.30605/proximal.v6i2.2932>.
- Vendhi Prasmoro, A., Widyantoro, M., & Warniningsih, W. (2020). Optimalisasi pelayanan dengan metode antrian pada SPBU ABC. *Jurnal Rekayasa Lingkungan*, 20(1), 42–51. <https://doi.org/10.37412/jrl.v20i1.41>.
- Wang, Y. (2022). Synchronous capture method of multi-channel weak signal in long-distance communication network. *Journal of Computational Methods in Sciences and Engineering*, 22(6), 2135–2148. <https://doi.org/10.3233/JCM-226397>.
- Yoo, S. E., Chong, P. K., Bae, J., Kim, T. S., Kim, H., & Yoo, J. (2014). Multi-channel analysis system based on IEEE 802.15.4 packet-capturing modules. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 2014. <https://doi.org/10.1155/2014/216504>.