E-ISSN: 3031-8629
P-ISSN: 3032-3258
Halaman 1120-1140
Volume 3 Nomor 4 Tahun 2026

Integrasi Model Antrean dan Simulasi *Software* Arena untuk Meminimalkan Total Biaya Operasional pada UMKM Pempek Minah

Ismail[1], Dela Nurhalizah[2], Andriansyah[3], Septa Hardini[4]

[1234] Jurusan Teknik Industri, Fakultas Sains Teknologi, Universitas Bina Darma
e-mail: tiismail069@gmail.com, delanurhalizah50@gmail.com, andriansyah07110@gmail.com, septa.hardini@binadarma.ac.id

Abstrak

Penumpukan antrean pada jam sibuk merupakan tantangan operasional utama pada UMKM Pempek Minah. Kondisi ini memicu ketidakseimbangan kapasitas antarstasiun kerja. Akibatnya, waktu tunggu pelanggan meningkat signifikan dan menurunkan efisiensi sistem pelayanan. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi *bottleneck*, memvalidasi model simulasi, serta menentukan konfigurasi tenaga kerja optimal guna meminimalkan total biaya operasional. Pendekatan yang digunakan adalah kuantitatif deskriptif-numerik melalui *Discrete Event Simulation* (DES) menggunakan *software* Arena. Data primer dikumpulkan melalui observasi langsung pada jam sibuk 11.30–12.30 WIB untuk kondisi *weekdays* dan *weekend*. Distribusi input ditentukan via *Input Analyzer* menggunakan uji *Chi-Square* dan *Kolmogorov-Smirnov*, sedangkan model diverifikasi dan divalidasi dengan 30 replikasi. Hasil menunjukkan bahwa *bottleneck* utama berada pada stasiun pelayan meja. Pada kondisi eksisting, waktu tunggu mencapai 8,84 menit (*weekdays*) dan 14,96 menit (*weekend*). Eksperimen skenario menunjukkan bahwa konfigurasi optimal bersifat adaptif. Skenario Usulan 3 (6 pelayan tetap, 1 *part-time*) optimal untuk *weekdays* dengan total biaya minimum Rp144.404/jam (efisiensi 50,17%). Sementara itu, Skenario Usulan 4 (6 pelayan tetap, 2 *part-time*) optimal untuk *weekend*

dengan total biaya minimum Rp333.512/jam (efisiensi 47,41%) serta menurunkan waktu tunggu menjadi 4,86 menit. Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi pemodelan simulasi diskrit multi-tahap dengan evaluasi ekonomi teknik berbasis *Value of Time* dan regulasi pengupahan paruh waktu yang adaptif terhadap fluktuasi permintaan UMKM.
Kata kunci: *sistem antrean; Discrete Event Simulation; Arena; bottleneck; total biaya operasional; UMKM kuliner.*

Abstract

Queue accumulation during peak hours represents a critical operational challenge at Pempek Minah MSME. This condition triggers capacity imbalances among service work stations. Consequently, customer waiting times increase significantly and undermine overall service efficiency. This study aims to identify bottlenecks, validate a simulation model, and determine the optimal workforce configuration to minimize total operating costs. A descriptive-quantitative numerical approach was employed using Discrete Event Simulation (DES) via Arena software. Primary data were gathered through direct observations during the peak window of 11:30–12:30 WIB across weekday and weekend conditions. Input distributions were fitted through Input Analyzer using Chi-Square and Kolmogorov-Smirnov goodness-of-fit tests, while model verification and validation were conducted over 30 replications. The findings indicate that the primary bottleneck occurs at the table-service station. Under existing conditions, average waiting times reached 8.84 minutes on weekdays and 14.96 minutes on weekends. Scenario experiments reveal that the optimal configuration is adaptive. Proposed Scenario 3 (6 full-time servers, 1 part-time server) is optimal for weekdays, yielding a minimum total cost of IDR 144,404/hour (50.17% cost reduction). Meanwhile, Proposed Scenario 4 (6 full-time servers, 2 part-time servers) is optimal for weekends, generating a minimum total cost of IDR 333,512/hour (47.41% cost reduction) and decreasing the average waiting time to 4.86 minutes. The novelty of this study lies in integrating multi-phase discrete simulation modeling with engineering economic evaluation based on Value of Time and part-time wage regulations adaptive to MSME demand fluctuations.

Keywords : *queueing system; Discrete Event Simulation; Arena; bottleneck; total operating cost; culinary MSMEs.*

LATAR BELAKANG

UMKM kuliner tidak hanya dituntut menghasilkan produk yang berkualitas, tetapi juga menyediakan pelayanan yang cepat dan konsisten. Kualitas pelayanan berkaitan erat dengan kepuasan dan loyalitas pelanggan, sementara ketidakseimbangan antara laju kedatangan dan kapasitas pelayanan dapat memicu peningkatan waktu tunggu serta menurunkan efisiensi sistem secara keseluruhan (Azizi et al., 2024; Saputra & Andesta, 2023). Dalam sistem pelayanan multi-tahap, perbedaan waktu proses antartahap berpotensi membentuk titik penyumbatan (*bottleneck*) yang memicu penumpukan antrean pada stasiun kerja tertentu.

Permasalahan tersebut teridentifikasi secara nyata pada UMKM Pempek Minah di Kota Palembang. Alur pelayanan operasional mencakup pemesanan dan pembayaran di area kasir, yang dilanjutkan dengan penyiapan serta pengantaran pesanan langsung ke meja pelanggan. Observasi awal pada jendela jam sibuk (*peak hours*) 11.30–12.30 WIB menunjukkan laju kedatangan rata-rata mencapai 37 pelanggan per jam pada *weekdays* dan melonjak hingga 46 pelanggan per jam pada *weekend*. Waktu proses pengantaran pesanan terbukti jauh lebih panjang dibandingkan proses pemesanan di kasir. Akibatnya, meja pelanggan beralih fungsi sebagai ruang tunggu sementara, yang menghambat perputaran fasilitas (*table turnover rate*) serta memperpanjang antrean fisik.

Struktur tenaga kerja eksisting terdiri atas 2 kasir dan 15 pelayan. Dari 15 pelayan tersebut, 2 orang bertugas pada bagian vakum produk, 9 orang dialokasikan untuk penanganan *packing*, dan hanya 4 orang yang melayani pengantaran pesanan ke meja pelanggan. Distribusi tenaga kerja ini memunculkan ketidakseimbangan kapasitas: stasiun pelayan meja mengalami beban kerja berlebih (*over-utilized*), sementara stasiun *packing* berada pada kondisi kapasitas berlebih (*under-utilized*). Ketidakseimbangan

kapasitas antarstasiun kerja ini menjadi akar inefisiensi operasional utama yang memerlukan rekayasa sistem (Alghushan & Andesta, 2022).

Secara konvensional, teori antrean matematis sering digunakan sebagai pendekatan awal untuk memetakan hubungan antara laju kedatangan, kapasitas pelayanan, panjang antrean, dan waktu tunggu. Namun, sistem pelayanan pada UMKM Pempek Minah memiliki karakteristik multi-tahap (*multi-phase*), pola kedatangan kelompok (*batch arrival*), serta variabilitas waktu proses yang mengikuti distribusi non-eksponensial. Asumsi dasar model analitik sederhana tidak lagi memadai untuk menangkap fenomena keterlambatan stokastik (*stochastic delay*) yang dinamis. Oleh karena itu, simulasi kejadian diskrit (*Discrete Event Simulation*/DES) menggunakan *software* Arena menjadi esensial guna merefleksikan variabilitas sistem secara realistis serta menguji berbagai skenario intervensi tanpa mengganggu operasional aktual (Al-Zaher et al., 2024; Kelton et al., 2015; Samad et al., 2024).

Meskipun demikian, perbaikan sistem antrean tidak dapat hanya bertumpu pada indikator teknis semata. Penambahan fasilitas atau tenaga kerja memang menurunkan panjang antrean dan waktu tunggu, tetapi secara langsung meningkatkan biaya penyediaan layanan. Sebaliknya, membiarkan antrean panjang menimbulkan kerugian waktu bagi konsumen yang dihitung sebagai biaya menunggu. Hubungan tarik-ulur (*trade-off*) ini menuntut optimasi berbasis total biaya operasional, yaitu $TC = C_s + C_w$ (Heizer & Render, 2015; Liputra et al., 2024).

Research gap yang ditemukan dari penelitian terdahulu menunjukkan adanya segmentasi pendekatan: sebagian besar studi hanya berfokus pada reduksi waktu tunggu dan utilisasi teknis berbasis simulasi tanpa menghitung kelayakan biaya (Firdaus & Andesta, 2023; Samad et al., 2024), sementara studi antrean berbasis minimasi biaya umumnya hanya menggunakan model analitik sederhana yang mengabaikan dinamika stokastik multi-tahap (Sapriwa et al., 2020; Wiranda, 2022). Integrasi komprehensif antara simulasi Arena dengan analisis ekonomi teknik berbasis biaya oportunitas waktu (*Value of Time*) dan regulasi pengupahan tenaga kerja riil pada skala UMKM kuliner masih sangat terbatas.

Integrasi ketiga pendekatan ini (teori antrean, simulasi Arena, dan ekonomi teknik) sangat diperlukan agar keputusan manajerial yang dihasilkan tidak hanya optimal secara teknis-operasional, tetapi juga layak secara finansial bagi pelaku usaha mikro dan kecil. Kebaruan penelitian ini terletak pada pengembangan model keputusan kapasitas yang adaptif terhadap fluktuasi hari kerja dan akhir pekan, dengan memperhitungkan realokasi beban kerja internal serta regulasi upah paruh waktu (PP No. 35 Tahun 2021).

Berdasarkan latar belakang dan kesenjangan penelitian tersebut, tujuan penelitian ini dirumuskan sebagai berikut: 1. Mengidentifikasi karakteristik sistem antrean dan titik *bottleneck* pada alur pelayanan UMKM Pempek Minah; 2. Membangun serta memvalidasi model simulasi Arena yang representatif dalam memprediksi pengaruh perubahan kapasitas kerja terhadap dinamika antrean; dan 3. Menentukan konfigurasi kapasitas pelayanan optimal yang meminimalkan total biaya operasional melalui evaluasi *trade-off* ekonomi teknik yang adaptif.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode deskriptif-numerik dan *Discrete Event Simulation* (DES) menggunakan *software* Arena. Objek penelitian adalah sistem pelayanan pada UMKM Pempek Minah yang berlokasi di Kota Palembang. Pengamatan difokuskan secara terstruktur pada jendela jam sibuk (*peak hours*) pukul 11.30–12.30 WIB dengan membedakan karakteristik operasional hari kerja (*weekdays*) dan akhir pekan (*weekend*).

Data primer dikumpulkan melalui teknik observasi langsung dengan pencatatan *time-study* menggunakan *stopwatch*. Pengumpulan data dikelompokkan ke dalam empat variabel utama: 1. *Waktu Antar-Kedatangan Pelanggan (T_a):* Pengamatan dilakukan selama 2 hari *weekdays* (Senin dan Selasa) dan 2 hari *weekend* (Sabtu dan Minggu). Jumlah sampel kedatangan yang dihimpun masing-masing sebanyak $N = 50$ observasi kelompok pelanggan per kategori hari (total 100 sampel kedatangan), yang telah memenuhi syarat batas kecukupan data statistik minimum ($N \geq 30$). 2. *Waktu Pelayanan Kasir (T_{s1}):* Mencakup proses pemesanan menu dan pembayaran transaksi di

area kasir, dikumpulkan sebanyak 50 sampel observasi pada *weekdays* dan 50 sampel pada *weekend*. 3. *Waktu Pelayanan Meja (T_{s2}):* Mencakup waktu penyiapan pesanan di dapur/stasiun penyajian hingga pengantaran pesanan ke meja pelanggan, dihimpun sebanyak 50 sampel observasi per kategori hari. 4. *Ukuran Kelompok Kedatangan (Batch Size):* Berdasarkan pencatatan empiris 50 kelompok kedatangan per periode, rata-rata ukuran rombongan pelanggan tercatat sebesar 1,48 orang/kelompok pada *weekdays* (total 74 orang) dan 1,84 orang/kelompok pada *weekend* (total 92 orang).

Tahapan penelitian terbagi menjadi lima langkah sistematis: Pertama, *Analisis Kondisi Eksisting:* Menghitung parameter empiris dasar sistem antrean meliputi laju kedatangan (λ), laju pelayanan (μ), utilisasi fasilitas (ρ), rata-rata panjang antrean (L_q), dan rata-rata waktu tunggu (W_q).

Kedua, *Penentuan Distribusi Input:* Data observasi diuji kesesuaian distribusinya (*goodness-of-fit test*) menggunakan modul *Input Analyzer* pada Arena melalui uji *Chi-Square* dan *Kolmogorov-Smirnov* pada derajat signifikansi $\alpha = 0{,}05$. Distribusi teoritis dipilih berdasarkan nilai *p-value* $> 0{,}05$ dan nilai *Square Error* terkecil.

Ketiga, *Pembangunan Model Logika Arena:* Model alur pelayanan dialirkan melalui modul-modul standar Arena, yaitu: Modul *Create* (kedatangan pelanggan), Modul *Process* dengan logika *Seize Delay Release* (pelayanan kasir dan pelayanan meja), Modul *Decide* (pengalihan alur), serta Modul *Dispose* (pelanggan meninggalkan sistem).

Keempat, *Verifikasi dan Validasi:* Verifikasi dilakukan untuk memastikan tidak ada kesalahan sintaksis, logika pergerakan entitas berjalan benar, dan entitas tidak tertahan secara abnormal. Validasi model dilakukan dengan membandingkan parameter *throughput* pelanggan keluar dan *Value Added Time* hasil simulasi terhadap data aktual lapangan dengan toleransi kesalahan $\leq 5\%$.

Kelima, *Eksperimen Skenario:* Menguji sensitivitas penambahan kapasitas pelayan meja dari kondisi eksisting (4 pelayan) menjadi 5, 6, 7, dan 8 pelayan (Skenario Usulan 1 hingga Usulan 4).

Simulasi pada setiap skenario dijalankan sebanyak 30 replikasi independen dengan durasi run 3.600 detik (1 jam) per replikasi. Pemilihan 30 replikasi didasarkan

pada prinsip *Central Limit Theorem* (CLT) dalam statistik stokastik, di mana jumlah replikasi $n \geq 30$ menjamin bahwa distribusi rata-rata sampel keluaran simulasi mendekati distribusi normal, memperkecil nilai *half-width*, dan menghasilkan tingkat kepercayaan (*confidence interval*) 95% yang stabil tanpa mengalami bias variabilitas awal (Kelton et al., 2015).

Konfigurasi optimal ditentukan berdasarkan minimasi fungsi tujuan *Total Cost* (TC) operasional per jam melalui penyeimbangan biaya penyediaan kapasitas pelayanan (C_s) dengan biaya penalti waktu tunggu antrean pelanggan (C_w) (Hillier & Lieberman, 2020):

$$TC = C_s + C_w = \left(s_{\text{tetap}} \times c_{s\text{-tetap}} + s_{\text{part-time}} \times c_{s\text{-part-time}}\right) + \left(L_{q2} \times c_w \times 60 \text{ menit}\right)$$

di mana:

- s_{tetap} dan $s_{\text{part-time}}$ adalah jumlah tenaga kerja pelayan meja tetap dan paruh waktu yang dialokasikan.
- $c_{s\text{-tetap}}$ adalah biaya pelayanan tenaga kerja tetap per jam sebesar **Rp16.638/jam/orang**. Nilai ini diturunkan secara proporsional dari ketetapan UMK Kota Palembang tahun 2026 sebesar Rp4.192.837/bulan, yang dibagi dengan total jam kerja operasional aktual bulanan UMKM sebanyak 252 jam (21 hari kerja efektif × 12 jam kerja/hari).
- $c_{s\text{-part-time}}$ adalah biaya pelayanan tenaga kerja paruh waktu yang ditetapkan sebesar **Rp25.000/jam**, mengacu pada fleksibilitas pengupahan per jam sesuai amanat regulasi ketenagakerjaan (PP No. 35 Tahun 2021).
- L_{q2} adalah rata-rata panjang antrean pada stasiun pelayanan meja (kelompok) yang dihasilkan dari output simulasi Arena.
- c_w adalah biaya menunggu antrean per kelompok per menit yang dihitung melalui pendekatan *opportunity cost* berbasis *Value of Time* (VoT). Nilai VoT individu masyarakat dihitung dari konversi UMK Palembang 2026 (Rp4.192.837) terhadap 168 jam kerja standar bulanan, sehingga diperoleh nilai VoT sebesar Rp24.957/jam (setara

Rp415,95/menit/orang). Nilai c_w per kelompok pelanggan kemudian dikalibrasi terhadap rata-rata ukuran rombongan empiris ($\bar{B}$):

- Pada *weekdays* ($\bar{B} = 1{,}48$ orang): $c_w = \frac{\text{Rp}24.957 \times 1{,}48}{60} = \text{Rp}615{,}61/$ kelompok-menit
- Pada *weekend* ($\bar{B} = 1{,}84$ orang): $c_w = \frac{\text{Rp}24.957 \times 1{,}84}{60} = \text{Rp}765{,}35/$ kelompok-menit

Penelitian ini menetapkan batasan dan asumsi sebagai berikut: Pertama, Disiplin antrean pada seluruh stasiun diasumsikan *First-In, First-Out* (FIFO). Kedua, Pengamatan difokuskan pada jam sibuk harian (11.30–12.30 WIB) dengan kapasitas ruang meja diasumsikan tidak membatasi aliran antrean. Ketiga, Pelanggan diasumsikan bersikap sabar (*no balking, no reneging*). Keempat, Pengambilan sampel *weekdays* diwakili oleh Senin–Selasa dan *weekend* diwakili oleh Sabtu–Minggu dengan karakteristik kedatangan diasumsikan homogen pada masing-masing kelompok hari. Kelima, Model antrean berfokus pada alur pelayanan pelanggan makan di tempat (*dine-in*) di area depan, dan tidak mencakup proses pengemasan paket luar kota di stasiun *packing*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penyajian Data Statistik Deskriptif dan Perbedaan Karakteristik Beban Kerja

Data hasil studi waktu (*time study*) lapangan menunjukkan bahwa rata-rata jeda waktu antar-kedatangan rombongan pelanggan pada *weekdays* dan *weekend* memiliki nilai identik yaitu 144 detik (2,40 menit). Namun, karakteristik operasional dan beban antrean yang dialami sistem lini depan menunjukkan kontras yang tajam: laju kedatangan aktual melonjak dari 38 orang/jam pada hari kerja menjadi 47 orang/jam pada akhir pekan.

Perbedaan beban antrean ini dipengaruhi secara signifikan oleh faktor perilaku pelanggan (*consumer behavior*) dan dinamika operasional dapur: 1. *Perilaku Kelompok Pelanggan (Batching Behavior):* Pada *weekdays*, pelanggan didominasi pekerja perkantoran dan mahasiswa yang datang secara individu atau berpasangan dengan rata-

rata ukuran rombongan 1,48 orang/kelompok dan variabilitas waktu jeda yang menyebar ($\sigma = 60{,}60$ detik). Sebaliknya, pada *weekend*, pola kunjungan didominasi oleh segmen keluarga besar dan wisatawan kuliner luar kota dengan karakteristik rombongan 3 hingga 4 orang per kedatangan (rata-rata 1,84 orang/kelompok) serta interval kedatangan yang lebih rapat dan konstan ($\sigma = 50{,}00$ detik). Kedatangan berkelompok secara simultan (*batch arrival*) ini langsung membebani kapasitas meja saji dalam satu waktu bersamaan. 2. *Karakteristik Operasional Dapur dan Kompleksitas Pesanan:* Waktu penyiapan hidangan di dapur depan meningkat dari rata-rata 603 detik (10,05 menit) pada *weekdays* menjadi 821 detik (13,68 menit) pada *weekend*. Konsumen akhir pekan memesan variasi jenis pempek dalam kuantitas porsi besar, sehingga waktu pemotongan, penggorengan ulang, penataan piring porsi, dan pengemasan kuah cuko membutuhkan waktu proses penambahan nilai (*Value Added Time*) yang jauh lebih tinggi.

Kapasitas operasional eksisting ditopang oleh 2 orang petugas kasir (s_1) yang menangani dwi-aktivitas linear pemesanan dan pembayaran, serta 4 orang pelayan meja (s_2) untuk penyiapan dan penyajian hidangan *dine-in*. Sementara itu, 9 orang personel difokuskan pada stasiun *packing* dan 2 orang di stasiun vakum.

Uji Kesesuaian Distribusi (Input Analyzer)

Pengujian kesesuaian distribusi (*goodness-of-fit test*) dijalankan secara terpisah menggunakan modul *Input Analyzer* Arena berdasarkan pembagian periode operasional. Hasil komparasi keluaran statistik dirangkum dalam Tabel 1 dan Tabel 2.

Table 1. Uji Kesesuaian Distribusi Variabel Operasional pada Hari Kerja (Weekdays)

Variabel Acak Penelitian	Distribusi Terpilih	Ekspresi Matematis Arena	Square Error	p-value (K-S)	Keputusan
Waktu Antar Kedatangan	Normal	$NORM(144{,}60)$	0.013974	0.15	Valid

Pelayanan di Kasir	BETA	$27 + 194 \times BETA$ $(1.42, 1.68)$	0.018197	0.15	Valid
Penyiapan & Pengantaran	BETA	$296 + 891 \times BETA$ $(0.963, 1.83)$	0.016921	0.15	Valid

Table 2. Uji Kesesuaian Distribusi Variabel Operasional pada Akhir Pekan (Weekend)

Variabel Acak Penelitian	Distribusi Terpilih	Ekspresi Matematis Arena	Square Error	p-value (K-S)	Keputusan
Waktu Antar Kedatangan	Erlang	$60 + ERLA(42,2)$	0.001866	0.0158	Valid
Pelayanan di Kasir	BETA	$54 + 135 \times BETA$ $(1.28, 1.97)$	0.006487	0.15	Valid
Penyiapan & Pengantaran	BETA	$441 + 949 \times BETA$ $(1.08, 1.61)$	0.010475	0.15	Valid

Berdasarkan Tabel 1 dan Tabel 2, secara umum seluruh elemen operasional mengikuti asumsi Distribusi Beta dan Normal secara valid dengan *p-value* Kolmogorov-Smirnov (K-S) $\geq 0{,}15$ (di atas ambang $\alpha = 0{,}05$). Khusus waktu antar-kedatangan *weekend*, ekspresi Erlang dipilih karena memiliki nilai *Square Error* paling superior dan terkecil (0,001866) serta lolos mutlak pada pengujian pendamping *Chi-Square* (p-value $> 0{,}75$).

Verifikasi, Validasi, dan Analisis Bottleneck

Model simulasi dinyatakan terverifikasi karena terbebas dari kesalahan pemrograman (*zero coding error*) dan visual animasi pergerakan entitas mengalir lancar linear dari modul *Create*, *Process*, hingga *Dispose*. Uji validasi menggunakan rata-rata output 30 replikasi independen Arena membuktikan tingkat akurasi yang tinggi (tingkat

kedekatan 96,87% pada parameter *Value Added Time* sebesar 899 detik berbanding data riil 928 detik) terhadap sistem nyata Pempek Minah.

Pada kondisi awal akhir pekan, sistem tervalidasi mengalami *bottleneck* parah di stasiun pelayan meja dengan rata-rata waktu tunggu antrean (W_{q2}) mencapai 14,96 menit dan panjang antrean (L_{q2}) sebesar 12,36 kelompok akibat utilisasi pelayan yang menyentuh batas riil 93,00%. Pembedahan komponen waktu simulasi mengungkapkan bahwa nilai *Value Added Time* (VA Time) mendominasi secara mutlak di kisaran 892 hingga 900 detik (lebih dari 60%) dari total waktu pelanggan di dalam sistem. Hal ini membuktikan bahwa akar masalah kemacetan murni bersumber dari rendahnya kapasitas peracikan menu di meja dapur depan, bukan disebabkan oleh kelambatan pergerakan fisik pelayan saat mengantar makanan ke meja pelanggan.

Analisis keseimbangan lini (*line balancing*) menunjukkan ketimpangan waktu menganggur (*idle time*) yang mencolok. Stasiun kasir berada pada kondisi longgar (*idle time* 31% hingga 40%), stasiun *packing* dengan 9 personel mengalami kelebihan kapasitas operasional harian, sedangkan stasiun pelayan meja mengalami beban kerja berlebih (*overload*) dengan *idle time* hanya tersisa 7% hingga 8%. Ketimpangan ini melandasi kelayakan rekayasa redistribusi kapasitas melalui program mutasi internal (*cross-training*) dari unit *packing* menuju pelayan meja depan.

Hasil Eksperimen Multi-Skenario dan Analisis Kelayakan Ekonomi

Hasil simulasi komparatif dari 30 replikasi beserta evaluasi fungsi penyeimbangan biaya operasional (*cost trade-off*) dirangkum dalam Tabel 3 dan Tabel 4.

Table 3. Analisis Performansi Operasional dan Finansial pada Hari Kerja (Weekdays)

Parameter Performa & Biaya Sistem	Skenario Eksisting	Skenario Usulan 1	Skenario Usulan 2	Skenario Usulan 3	Skenario Usulan 4
Konfigurasi Server (s_1, s_2)	2 Kasir, 4 Pelayan	2 Kasir, 5 Pelayan	2 Kasir, 6 Pelayan	2 Kasir, 7 Pelayan	2 Kasir, 8 Pelayan

Rata-rata Pelanggan Keluar	20,20 orang	24,40 orang	26,93 orang	27,90 orang	28,70 orang
Utilisasi Pelayan Meja (ρ_2)	91,35 persen	86,80 persen	79,84 persen	71,66 persen	64,00 persen
Waktu Tunggu Pelayan (W_{q2})	8,84 menit	4,36 menit	1,95 menit	0,81 menit	0,35 menit
Panjang Antrean Pelayan (L_{q2})	6,04 kel.	2,74 kel.	1,32 kel.	0,53 kel.	0,22 kel.
Biaya Pelayanan (C_s)	Rp66.552	Rp83.190	Rp99.828	Rp124.828	Rp149.828
Biaya Menunggu Pelanggan (C_w)	Rp223.097	Rp101.192	Rp48.756	Rp19.576	Rp8.126
Total Cost / Jam (TC)	Rp289.649	Rp184.382	Rp148.584	Rp144.404	Rp157.954
Efisiensi Finansial Total	-	-36,37 persen	-48,72 persen	-50,17 persen	-45,49 persen
Evaluasi Status Sistem	Stabil	Stabil	Stabil	Optimal	Over-capacity

Table 4. Analisis Performansi Operasional dan Finansial pada Akhir Pekan (Weekend)

Parameter Performa & Biaya Sistem	**Skenario Eksisting**	**Skenario Usulan 1**	**Skenario Usulan 2**	**Skenario Usulan 3**	**Skenario Usulan 4**
Konfigurasi Server (s_1, s_2)	2 Kasir, 4 Pelayan	2 Kasir, 5 Pelayan	2 Kasir, 6 Pelayan	2 Kasir, 7 Pelayan	2 Kasir, 8 Pelayan

Rata-rata Pelanggan Keluar	15,10 orang	23,40 orang	21,40 orang	24,50 orang	27,23 orang
Utilisasi Pelayan Meja (ρ_2)	93,00 persen	92,00 persen	90,00 persen	89,00 persen	86,00 persen
Waktu Tunggu Pelayan (W_{q2})	14,96 menit	12,07 menit	9,29 menit	7,26 menit	4,86 menit
Panjang Antrean Pelayan (L_{q2})	12,36 kel.	9,72 kel.	7,81 kel.	6,07 kel.	4,00 kel.
Biaya Pelayanan (C_s)	Rp66.552	Rp83.190	Rp99.828	Rp124.828	Rp149.828
Biaya Menunggu Pelanggan (C_w)	Rp567.584	Rp446.506	Rp358.726	Rp278.730	Rp183.684
Total Cost / Jam (TC)	**Rp634.136**	**Rp529.696**	**Rp458.554**	**Rp403.558**	**Rp333.512**
Efisiensi Finansial Total	-	-16,47 persen	-27,69 persen	-36,36 persen	-47,41 persen
Evaluasi Status Sistem	Kritis	Kritis	Kritis	Stabil	Optimal

Berdasarkan komparasi finansial pada Tabel 3, Skenario Usulan 3 diidentifikasi sebagai konfigurasi paling optimal untuk diterapkan pada hari kerja (*weekdays*) karena meminimalkan pengeluaran makro hingga mencapai titik terendah Rp144.404 per jam (efisiensi -50,17%). Penambahan hingga Skenario Usulan 4 pada hari kerja justru memicu *over-staffing*, di mana ongkos marginal penambahan upah tenaga kerja tidak lagi sebanding dengan laju penghematan antrean pelanggan yang sudah melandai, sehingga utilisasi anjlok ke 64,00% (*idle time* 36,00%).

Sebaliknya, merujuk pada Tabel 4 untuk kondisi beban puncak akhir pekan (*weekend*), Skenario Usulan 4 (6 pelayan tetap ditambah 2 pelayan paruh waktu khusus di jam sibuk) menjadi konfigurasi optimal. Skenario ini memotong panjang antrean secara radikal menjadi 4,00 kelompok dan menekan rata-rata waktu tunggu hingga 4,86 menit (di bawah batas toleransi psikologis kepuasan pelanggan 5 menit), menghasilkan nilai TC minimum sebesar Rp333.512 per jam dengan efisiensi finansial mencapai -47,41%.

Pengujian Hipotesis Statistik Inferensial

Pengujian validasi formal terhadap signifikansi perbaikan model disajikan melalui parameter selang kepercayaan (*Confidence Interval*) 95% pada Tabel 5, Tabel 6, dan Tabel 7.

Table 5. Hasil Pengujian Hipotesis Parametrik pada Hari Kerja (Weekdays)

Hipotesis	Variabel Performansi	Rentang Interval Kepercayaan 95% (Eksisting)	Rentang Interval Kepercayaan 95% (Usulan 3 - Optimal)	Evaluasi Status Hubungan	Keputusan Statistik
H_1	Waktu Tunggu (W_q)	7,60 s.d. 10,08 menit	0,32 s.d. 1,30 menit	*Non-Overlapping*	$\boldsymbol{H_{01}}$ Ditolak ($\boldsymbol{H_{11}}$ Diterima)

H_2	Panjang Antrean (L_q)	4,99 s.d. 7,09 kelompok	0,20 s.d. 0,86 kelompok	*Non-Overlapping*	$\boldsymbol{H_{02}}$ Ditolak ($\boldsymbol{H_{12}}$ Diterima)

Table 6. Hasil Pengujian Hipotesis Parametrik pada Akhir Pekan (Weekend)

Hipotesis	Variabel Performansi	Rentang Interval Kepercayaan 95% (Eksisting)	Rentang Interval Kepercayaan 95% (Usulan 4 - Optimal)	Evaluasi Status Hubungan	Keputusan Statistik
H_1	Waktu Tunggu (W_q)	14,08 s.d. 15,84 menit	2,10 s.d. 7,61 menit	*Non-Overlapping*	$\boldsymbol{H_{01}}$ Ditolak ($\boldsymbol{H_{11}}$ Diterima)
H_2	Panjang Antrean (L_q)	11,06 s.d. 13,66 kelompok	3,07 s.d. 4,93 kelompok	*Non-Overlapping*	$\boldsymbol{H_{02}}$ Ditolak ($\boldsymbol{H_{12}}$ Diterima)

Table 7. Rekapitulasi Pengujian Hipotesis Finansial dan Metodologikal Sistem

Hipotesis	Variabel Performansi	Kondisi Awal /Eksisting	Kondisi Usulan Optimal	Status Interval / Evaluasi	Keputusan Statistik
H_3	Total Biaya Operasional (TC)	Berdasarkan total pengeluaran komponen biaya tunggu (C_w) eksisting.	Penurunan drastis nilai TC menuju titik paling minimum pada konfigurasi usulan optimal.	Efisiensi Finansial Finiter (Deterministik)	$\boldsymbol{H_{03}}$ Ditolak ($\boldsymbol{H_{13}}$ Diterima)

H_4	Pendekatan Integratif	Model Analitik Murni ($M/M/s$): *Oversimplified*, homogen, mengabaikan fase *multi-phase*.	Model Integratif (Simulasi + Biaya): Presisi, mengakomodasi variabilitas non-eksponensial nyata.	Keunggulan Presisi & Akurasi Manajerial	$\boldsymbol{H_{04}}$ Ditolak ($\boldsymbol{H_{14}}$ Diterima)

Hasil pada Tabel 5, 6, dan 7 menunjukkan bahwa seluruh hipotesis nol (H_0) ditolak secara signifikan, sehingga hipotesis alternatif (H_1 hingga H_4) diterima. Melalui pendekatan *Confidence Interval Overlapping*, tidak ditemukan tumpang tindih rentang variabilitas antara kondisi awal dan usulan optimal, membuktikan bahwa perbaikan performansi antrean murni bersumber dari rekayasa kapasitas terarah, bukan karena faktor variabilitas stokastik acak.

Rekomendasi

Guna mengimplementasikan konfigurasi optimal tanpa menambah beban upah tetap baru, dirancang mekanisme operasional *cross-training* dan penjadwalan fleksibel sebagai berikut:

Pertama, *Kriteria Pemilihan Staf:* Dipilih 2 orang karyawan dari stasiun *packing* (yang beranggotakan 9 orang) dengan kriteria: masa kerja minimal 6 bulan, memiliki ketangkasan tangan dalam peracikan menu, serta menunjukkan rekam jejak kedisiplinan kerja yang tinggi.

Kedua, Durasi dan Materi Pelatihan (Cross-Training): Program pelatihan silang dilaksanakan intensif selama 7 hari kerja (1 minggu). Materi pelatihan difokuskan pada: pemotongan pempek sesuai standar porsi, pengaturan tata saji piring saji, pencocokan

nota transaksi kasir dengan meja konsumen, dan standar higienitas penanganan makanan cepat saji.

Ketiga, *Jadwal Rotasi Harian (Workforce Scheduling):* 1. *Hari Kerja (Weekdays):* Kedua staf *packing* yang telah terlatih dialihkan tugasnya menuju stasiun peracikan meja tepat pada pukul 11.30–12.30 WIB, didampingi 1 orang pekerja paruh waktu (*part-time*). Setelah periode jam sibuk selesai pada pukul 12.30 WIB, kedua staf kembali ke stasiun *packing* untuk menyelesaikan persiapan pesanan paket luar kota. 2. *Akhir Pekan (Weekend):* Pada jendela jam sibuk 11.30–12.30 WIB, 2 staf *packing* dialokasikan ke meja pelayanan bersama 2 orang pekerja paruh waktu fleksibel dengan upah Rp25.000/jam sesuai PP No. 35 Tahun 2021 (total 8 pelayan meja aktif).

Skema ini menyelesaikan penumpukan antrean pada jam puncak operasional secara fleksibel dengan tetap menjaga efisiensi struktur biaya tenaga kerja UMKM Pempek Minah.

SIMPULAN

Penelitian ini membuktikan bahwa sistem pelayanan pada UMKM Pempek Minah mengalami kendala *bottleneck* kritis pada stasiun pelayan meja. Pada kondisi eksisting, waktu tunggu pelanggan pada jam sibuk mencapai 8,84 menit pada *weekdays* dan membengkak hingga 14,96 menit pada *weekend*, yang dipicu oleh ketimpangan beban kerja akibat lambatnya proses peracikan hidangan di dapur depan. Integrasi model antrean kejadian diskrit (*Discrete Event Simulation*) menggunakan Arena dan analisis ekonomi teknik berbasis *Value of Time* (VoT) serta regulasi PP No. 35 Tahun 2021 berhasil mengidentifikasi konfigurasi tenaga kerja optimal yang adaptif. Pada *weekdays*, Skenario Usulan 3 (6 pelayan tetap, 1 *part-time*) menjadi konfigurasi terbaik dengan nilai *Total Cost* (TC) minimum Rp144.404/jam (efisiensi 50,17%). Sementara pada *weekend*, Skenario Usulan 4 (6 pelayan tetap, 2 *part-time*) menjadi solusi optimal dengan TC minimum Rp333.512/jam (efisiensi 47,41%) serta sukses memangkas waktu tunggu menjadi 4,86 menit (di bawah ambang toleransi kenyamanan 5 menit).

Secara teoretis, temuan ini memperluas penerapan teori antrean klasik dan simulasi kejadian diskrit dalam konteks sektor industri kecil dan menengah (UMKM). Studi ini membuktikan bahwa model analitik konvensional ($M/M/s$) memiliki keterbatasan asumsi dalam menangkap fenomena kedatangan berkelompok (*batch arrival*) dan variabilitas waktu proses non-eksponensial di lapangan. Penggabungan simulasi DES dengan evaluasi *cost trade-off* menunjukkan bahwa kriteria optimasi sistem antrean pada UMKM tidak dapat semata-mata mengacu pada minimalisasi waktu tunggu teknis, melainkan harus menyeimbangkan biaya marjinal penyediaan kapasitas layanan dengan biaya oportunitas waktu pelanggan secara simultan.

Meskipun demikian, penelitian ini memiliki sejumlah keterbatasan: 1. Periode observasi primer dibatasi pada jendela jam sibuk makan siang (11.30–12.30 WIB) dengan representasi hari kerja awal pekan (Senin–Selasa) dan akhir pekan (Sabtu–Minggu), sehingga dinamika di luar jam puncak belum terekam penuh. 2. Ruang lingkup model berfokus pada satu studi kasus UMKM kuliner dengan sistem pelayanan *dine-in*, tanpa mencakup kompleksitas interaksi pesanan bawa pulang (*take-away*) dan pengiriman paket luar kota secara menyeluruh. 3. Model simulasi mengasumsikan kapasitas tempat duduk tidak membatasi aliran antrean (*infinite queue*) dan pelanggan bersikap sabar tanpa pembatalan antrean (*no balking/reneging*).

Untuk pengembangan ke depan, penelitian lanjutan direkomendasikan mengkaji secara spesifik integrasi sistem antrean *multi-channel multi-phase* yang menggabungkan aliran pesanan daring (*online orders* via platform pesan antar dan media sosial) dengan layanan *dine-in* secara terpadu. Selain itu, kajian mendalam terkait pengaruh variasi kerumitan menu terhadap waktu penyiapan dapur serta pemodelan fluktuasi permintaan musiman (*seasonal demand*) pada hari libur nasional menjadi aspek penting untuk meningkatkan daya adaptasi sistem antrean industri kuliner tradisional.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Program Studi Teknik Industri, Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Bina Darma atas fasilitasi

sarana akademik dan komputasi simulasi. Rasa terima kasih dan apresiasi tinggi ditujukan kepada pemilik dan segenap staf UMKM Pempek Minah atas keterbukaan informasi dan akses data operasional lapangan. Ucapan terima kasih khusus disampaikan kepada Ibu Septa Hardini, S.T., M.T. atas bimbingan, koreksi, dan arahan metodologis yang sangat berharga selama proses penyusunan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Al-Zaher, A., Indiyanto, R., & Donoriyanto, D. S. (2024). Analysis of service system using simulation. Tekmapro: Journal of Industrial Engineering and Management, 19(2). https://doi.org/10.33005/tekmapro.v19i2.395

Alghushan, A. A., & Andesta, D. (2022). Analisis simulasi antrian pada proses produksi sarung tenun di UMKM Desa Wedani Gresik. JUSTI (Jurnal Sistem dan Teknik Industri), 3(3).

Azizi, M., Kusuma, B. S., & Polewangi, Y. D. (2024). Analisa sistem antrian kasir menggunakan software Arena. Industrial Engineering Journal, 13(1). https://doi.org/10.29103/iej.v13i1.16318

Ekawati, R., Anggraeni, S. K., Ulfah, M., Febianti, E., & Wahyuni, N. (2023). Analisa sistem antrian single-channel multi-phase gerai ice cream and tea wilayah Cilegon. Metode: Jurnal Teknik Industri, 10(2), 205–216.

Firdaus, A., & Andesta, D. (2023). Usulan perbaikan sistem pelayanan di gerai makan Mie Gacoan dengan menggunakan software Arena. JUSTI (Jurnal Sistem dan Teknik Industri), 4(1).

Heizer, J., & Render, B. (2015). Manajemen operasi: Manajemen keberlangsungan dan rantai pasokan (11th ed.). Salemba Empat.

Kelton, W. D., Sadowski, R. P., & Zupick, N. B. (2015). Simulation with Arena (6th ed.). McGraw-Hill Education.

Liputra, D. T., Suhada, K., Arisandhy, V., & Bakti, N. K. (2024). Perancangan sistem antrian dan penentuan jumlah operator SPBU untuk mengurangi panjang antrian dan total biaya operasional dengan metode simulasi. Jurnal Optimalisasi, 10(2). https://doi.org/10.35308/jopt.v10i2.10156

Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 35 Tahun 2021 tentang Perjanjian Kerja Waktu Tertentu, Alih Daya, Waktu Kerja dan Waktu Istirahat, dan Pemutusan Hubungan Kerja. (2021).

Refiantoro, R. F. (2025). Usulan kebijakan sistem antrian pasien rawat jalan dengan metode simulasi menggunakan software Arena. Jurnal Trinistik, 4(1). https://doi.org/10.20895/trinistik.v4i1.1449

Rosyidah, M., & Fijra, R. (2021). Metode penelitian. Deepublish (CV Budi Utama).

Samad, M. A., Abdullah, J., Karim, M. A., & Islam, K. (2024). Optimizing restaurant queue management: A simulation-based approach using Arena software. Asian Journal of Engineering and Applied Technology, 13(1), 20–29. https://doi.org/10.70112/AJEAT-2024.13.1.4234

Sapriwa, M. F. I., Muhardi, M., & Gumelar, E. T. (2020). Analisis sistem antrian layanan teller menggunakan model multi channel-single phase (M/M/S) guna meminimumkan biaya layanan. Jurnal Manajemen dan Bisnis Performa, 17(2). https://doi.org/10.29313/performa.v17i2.7742

Saputra, H. R., & Andesta, D. (2023). Analisis simulasi sistem antrian PT. Bank XYZ dengan menggunakan software Arena. JUSTI (Jurnal Sistem dan Teknik Industri), 4(1), 104–114. https://doi.org/10.30587/justicb.v4i1.6717

Setyartantya, I. M., Dharmawan, A., & Yusup, Y. (2024). Analisis sistem antrian dan efektivitas layanan nasabah menggunakan software Arena. INTECOMS, 7(5). https://doi.org/10.31539/intecoms.v7i5.11452

Tindaon, D., & Manullang, S. (2023). Analisis sistem antrian pada masa pasca Covid-19 dengan model multi channel-multi phase dalam optimalisasi pelayanan nasabah

Bank BRI Unit Aek Kanopan. Student Scientific Creativity Journal, 1(6). https://journal.amikveteran.ac.id

Wiranda, D. (2022). Analisis sistem antrian layanan teller dengan menggunakan metode multi channel-single phase (M/M/S) untuk mengoptimalkan pelayanan. Jurnal Riset Manajemen dan Bisnis, 2(2), 71–80. https://doi.org/10.29313/jrmb.v2i2.1633