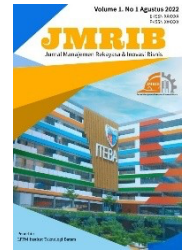




Tersedia secara online di <https://journal.iteba.ac.id/index.php/jmrib>

JMRIB

Jurnal Manajemen Rekayasa dan Inovasi Bisnis



Analisis Antrean SPBU dengan Model M/M/c dan Simulasi Arena untuk Optimalisasi (Studi Kasus: SPBU NOMOR 14.201.125, MEDAN)

Roberta Simarmata¹, Alia Dwi Septia², Johana Sihol Marito Purba³

simarmata.roberta@gmail.com, aliadwisepia22@gmail.com, johanasima@gmail.com

^{1,2,3} Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi dan Sains TD. Pardede

Informasi Artikel

Riwayat Artikel :

Received : 01 – Agustus – 2025

Revised : 14 – Agustus – 2025

Accepted : 14 – Agustus – 2025

Kata kunci :

Technology;

Queue, service efficiency,
M/M/c, Arena simulation, gas
station

Abstract

This study analyzes the queuing system at the Gatot Subroto SPBU using the M/M/c model and Arena simulation to identify bottlenecks and optimize service. Arrival and service time data for motorcycles (Beta distribution) and cars (Weibull distribution) were modeled using Create, Hold, Decide, Process, and Dispose modules. M/M/c calculations ($C = 2$) showed high alignment for motorcycles ($\rho = 0.0885$, $Wq = 0.02998$ minutes) but less accuracy for cars ($Wq = 0.1361$ minutes) due to non-exponential distributions. Arena simulation revealed bottlenecks at POM 2 ($Wq = 0.1202$ minutes) and POM 4 ($Wq = 0.3642$ minutes) caused by uneven vehicle distribution, clustered arrivals, prolonged car service times, and FCFS discipline. A load balancing solution with 4 Decide modules and 10 replications increased pump utilization (POM 1: 60%, POM 2: 29%, POM 3: 61%, POM 4: 25%), reduced car service time (Ws decreased by 0.147 minutes), and lowered car queue length (Lq reduced by 0.0017), though motorcycle waiting time slightly increased (0.0255 minutes). Practical solutions include manual load balancing, pump flexibility, vehicle flow optimization, and supportive technology. The study demonstrates that load balancing effectively mitigates bottlenecks, but motorcycle service requires further improvement.

Abstrak

Penelitian ini menganalisis sistem antrean SPBU Jalan Gatot Subroto menggunakan model M/M/c dan simulasi Arena untuk mengidentifikasi bottleneck dan mengoptimalkan pelayanan. Data waktu kedatangan dan pelayanan sepeda motor (distribusi Beta) dan mobil (distribusi Weibull) dimodelkan dengan modul Create, Hold, Decide, Process, dan Dispose. Perhitungan M/M/c ($C = 2$) menunjukkan keselarasan tinggi untuk sepeda motor ($\rho = 0,0885$, $Wq = 0,02998$ menit), tetapi kurang akurat untuk mobil ($Wq = 0,1361$ menit) karena distribusi non-eksponensial. Simulasi Arena mengungkap bottleneck pada POM 2 ($Wq = 0,1202$ menit) dan POM 4 ($Wq = 0,3642$ menit) akibat distribusi kendaraan tidak merata, kedatangan berkelompok, waktu pelayanan mobil yang lama, dan disiplin FCFS. Solusi load balancing dengan 4 modul decide dan 10 replikasi meningkatkan utilisasi pompa (POM 1: 60%, POM 2: 29%, POM 3: 61%, POM

4: 25%), mempercepat pelayanan mobil (W_s turun 0,147 menit), dan mengurangi antrean mobil (L_q turun 0,0017), meskipun waktu tunggu motor sedikit meningkat (0,0255 menit). Solusi praktis meliputi load balancing manual, fleksibilitas pompa, optimalisasi alur kendaraan, dan teknologi pendukung. Penelitian ini menunjukkan bahwa load balancing efektif mengurangi bottleneck, tetapi pelayanan motor, memerlukan perbaikan tambahan.

1. Pendahuluan

Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum (SPBU) merupakan fasilitas vital yang mendukung mobilitas masyarakat, khususnya di wilayah perkotaan seperti Medan. Namun, antrean panjang pada jam sibuk sering kali menyebabkan ketidaknyamanan pelanggan, penurunan kepuasan, dan potensi kerugian bagi pengelola. Berdasarkan observasi awal pada SPBU No. 14.201.125 di Jalan Gatot Subroto, Medan, waktu tunggu pelanggan bervariasi signifikan antara sepeda motor dan mobil, dipengaruhi oleh waktu kedatangan, durasi pelayanan, dan distribusi kendaraan yang tidak merata antar pompa. Ketimpangan ini menyebabkan utilisasi pompa yang rendah, terutama pada POM 2 dan POM 4, sehingga mengurangi efisiensi operasional dan kapasitas pelayanan SPBU secara keseluruhan.

Penelitian sebelumnya oleh Fikri,dkk [1] [2] menegaskan relevansi masalah ini menunjukkan bahwa simulasi sistem antrean menggunakan perangkat lunak Arena dapat mengidentifikasi bottleneck tanpa mengganggu operasional SPBU. Sementara itu, menurut Novita Ibrahim,dkk.[3] [4] menekankan pentingnya model M/M/C dalam analisis antrean, yang memungkinkan perbandingan antara hasil teoritis dan simulasi untuk memvalidasi performa sistem. Namun, sebagian besar studi sebelumnya belum mengintegrasikan analisis untuk SPBU dengan dua jenis kendaraan (sepeda motor dan mobil) yang dilayani pompa khusus, serta belum mengeksplorasi solusi berbasis load balancing untuk mengatasi bottleneck secara spesifik.

Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi teori antrean M/M/C dengan simulasi Arena untuk menganalisis sistem antrean di SPBU dengan karakteristik pelayanan ganda (sepeda motor dan mobil), serta pengusulan solusi load balancing guna meningkatkan utilisasi setiap pompa.

Arena merupakan perangkat lunak simulasi diskrit yang dikembangkan oleh Systems Modeling dan diakuisisi Rockwell Automation pada tahun 2000, memanfaatkan bahasa SIMAN untuk memodelkan sistem kompleks. Sebagai gabungan simulator dan bahasa simulasi, Arena menawarkan antarmuka ramah pengguna untuk sistem sederhana dan fleksibilitas pemrograman untuk sistem kompleks[1] [5] [6].

Permasalahan penelitian meliputi karakteristik waktu kedatangan dan pelayanan sepeda motor dan mobil, keberadaan antrean membludak pada jam sibuk, penyebab bottleneck pada pompa tertentu, performa sistem antrean berdasarkan simulasi, dan solusi untuk meningkatkan efisiensi pelayanan. Tujuan penelitian adalah menganalisis karakteristik antrean melalui data empiris, mengevaluasi performa sistem menggunakan simulasi Arena dan validasi M/M/C, mengidentifikasi bottleneck dan penyebabnya, dan mengusulkan solusi praktis, termasuk load balancing, fleksibilitas pompa, pelatihan karyawan, dan evaluasi kinerja berkala, untuk mengoptimalkan utilisasi pompa dan efisiensi operasional. Dengan pendekatan ini, penelitian ini diharapkan memberikan wawasan aksi nyata bagi pengelola SPBU untuk meningkatkan pelayanan dan kepuasan pelanggan.

2. Tinjauan Pustaka

Teori antrean (*queuing theory*) merupakan cabang matematika yang pertama kali

diperkenalkan oleh A.K. Erlang pada tahun 1913 melalui karyanya berjudul *Solution of Some Problem in the Theory of Probability of Significance in Automatic Telephone Exchange* (Erlang, 2011)[7]. Teori ini dikembangkan untuk menentukan jumlah optimal fasilitas pelayanan, seperti sakelar telepon, guna memenuhi permintaan yang bersifat acak. Tujuan utama teori antrean adalah merancang sistem pelayanan yang mampu mengelola fluktuasi permintaan secara efisien, menjaga keseimbangan antara biaya pelayanan dan waktu tunggu pelanggan (Erlang, 2011).

Menurut Heizer dan Render (2005), antrean didefinisikan sebagai barisan pelanggan atau barang yang menunggu untuk dilayani. Sementara itu, Yamit (1993) menyatakan bahwa antrean terjadi ketika pelanggan menunggu untuk mendapatkan jasa pelayanan [8] [9]. Proses antrean melibatkan kedatangan pelanggan ke fasilitas pelayanan, menunggu dalam barisan jika semua pelayan sibuk, dan akhirnya meninggalkan sistem setelah dilayani. Bronson (1988) menambahkan bahwa sistem antrean terdiri dari pelanggan, pelayan, dan aturan yang mengatur kedatangan serta pemrosesan pelanggan. Teori antrean menjadi alat penting bagi manajer operasional untuk menganalisis dan meningkatkan efisiensi sistem pelayanan (Taha, 1997).

2.1 Struktur Sistem Antrean

Sistem antrean memiliki lima komponen utama, sebagaimana dijelaskan oleh Taha (1997), yaitu [9]:

- 1) Pola kedatangan, yang dapat bersifat pasti atau acak dengan distribusi peluang tertentu;
- 2) Pola kepergian, yang ditentukan oleh waktu pelayanan;
- 3) Kapasitas sistem, yaitu jumlah maksimum pelanggan yang dapat ditampung;
- 4) Desain pelayanan, yang mencakup struktur seperti *single channel-single phase*, *single channel-multi phase*, *multi channel-single phase*, dan *multi channel-multi phase*;
- 5) Disiplin pelayanan, seperti *First Come First Served* (FCFS), *Last Come First Served* (LCFS), *Service In Random Order* (SIRO), atau *Priority Service* (PS).

Disiplin pelayanan FCFS, yang setara dengan *First In First Out* (FIFO)[10], adalah aturan umum dalam sistem antrean sederhana, seperti di SPBU, di mana pelanggan yang datang lebih dulu dilayani terlebih dahulu. Sistem *multi channel-single phase*, yang diterapkan dalam banyak SPBU, memungkinkan pelayanan melalui beberapa server (pompa) dalam satu tahap pelayanan tanpa proses tambahan [9]. Model antrean M/M/c yang mengasumsikan kedatangan dan pelayanan mengikuti distribusi eksponensial dengan c server, sering digunakan untuk menganalisis sistem seperti ini karena kemampuannya memodelkan efisiensi waktu dan utilisasi sumber daya [3].

2.2 Sistem Antrean di SPBU

Sistem antrean di SPBU biasanya bersifat *multi channel-single phase* dengan disiplin FCFS. Menurut Pratama dan Momon (2024), sistem antrean di SPBU melibatkan beberapa pompa pelayanan yang masing-masing melayani jenis kendaraan tertentu, seperti sepeda motor atau mobil, dengan kapasitas antrean yang sering dianggap tidak terbatas. Pelanggan yang tiba dapat langsung dilayani jika pompa tersedia atau menunggu dalam antrean jika semua pompa sibuk [11][12][13][14]. Penelitian oleh Aji dan Bodroastuti [9] menunjukkan bahwa analisis sistem antrean di fasilitas pelayanan publik, seperti SPBU atau apotek, dapat mengidentifikasi bottleneck dan memberikan solusi untuk meningkatkan efisiensi pelayanan.

Faktor-faktor seperti waktu kedatangan yang bervariasi, waktu pelayanan yang berbeda antara jenis kendaraan, dan distribusi kendaraan yang tidak merata antar pompa sering menyebabkan antrean panjang dan waktu tunggu yang berlebihan [1]. Untuk mengatasi masalah ini, simulasi sistem antrean menggunakan pendekatan matematis, seperti model M/M/c, dapat digunakan untuk menghitung metrik seperti rata-rata jumlah pelanggan dalam antrean (Lq), jumlah pelanggan dalam sistem (Ls), waktu tunggu dalam antrean (Wq), dan

waktu total dalam sistem (W_s) (Heizer & Render, 2006). Data hasil observasi yang didapatkan dihitung dalam rumus M/M/C sebagai berikut [3] :

$$Utilisasi = \rho_m = \frac{\lambda m}{c \cdot \mu m}$$

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

$$L_q = \frac{r^2 \cdot \rho}{c! \cdot (1-\rho)^2} \times P_0$$

$$L_s = L_q + \frac{\lambda}{\mu}$$

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

$$W_s = W_q + \frac{1}{\mu}$$

λ : Laju kedatangan pelanggan (pelanggan/unit waktu).

μ : Laju pelayanan per server (pelanggan/unit waktu).

c : Jumlah server.

ρ : Utilisasi sistem, $\lambda/(c\mu)$ (harus < 1 agar stabil).

P_0 : Probabilitas sistem kosong (tidak ada pelanggan).

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

L_s : Rata-rata jumlah pelanggan dalam sistem (termasuk yang menunggu di antrian dan yang sedang dilayani).

W_q : Rata-rata waktu menunggu dalam antrian

W_s : rata-rata waktu yang dihabiskan pelanggan dalam sistem.

3. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan penelitian kuantitatif dengan pendekatan simulasi diskrit menggunakan software Arena [5]. Pengamatan dilakukan pada 20 April 2025 pukul 12:00–13:00 WIB di SPBU Jalan Gatot Sub- roto, Medan, dengan asumsi pola antrean hingga pukul 17:30 WIB. Data waktu kedatangan dan pelayanan sepeda motor dan mobil dikumpulkan melalui observasi langsung, diukur dalam menit.

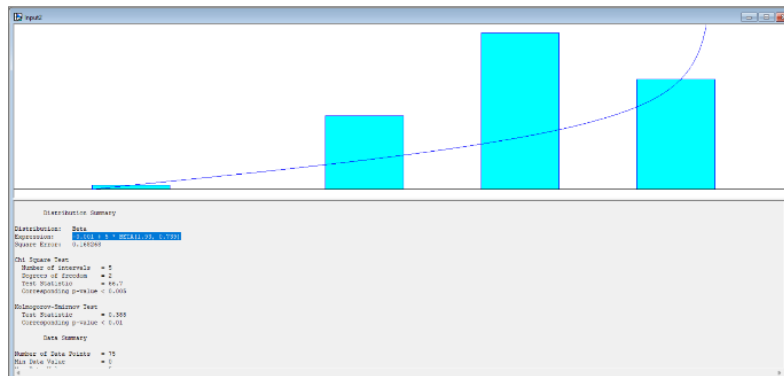
Data diolah dengan langkah berikut [9]: (1) penyusunan data dalam Excel berdasarkan jenis kendaraan, (2) analisis distribusi probabilitas menggunakan Arena Input Analyzer, (3) pemodelan sistem antrian dalam Arena, (4) simulasi dengan tiga replikasi, (5) perhitungan manual menggunakan rumus M/M/c, dan (6) analisis hasil untuk mengevaluasi waktu tunggu, utilisasi, dan panjang antrian. Model antrian M/M/c [15] diterapkan dengan notasi:

•M : Distribusi Poisson untuk kedatangan dan eksponensial untuk pelayanan.

•c: Jumlah server (2 pompa per jenis kendaraan).

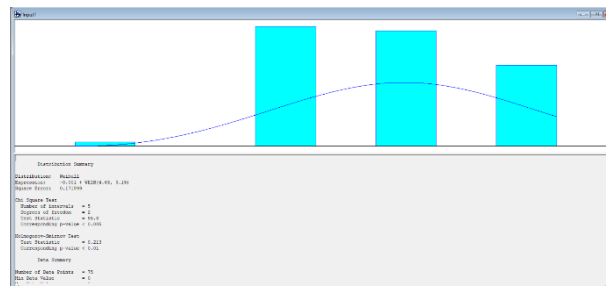
4. Hasil dan Pembahasan

Data dikumpulkan melalui observasi langsung di SPBU, data yang diperoleh meliputi waktu kedatangan dan pelayanan kendaraan, yang disusun berdasarkan jenis kendaraan (sepeda motor dan mobil). Langkah selanjutnya melibatkan identifikasi distribusi data hasil observasi dengan memasukkan data ke dalam Arena Simulation Software, khususnya pada Input Analyzer, untuk menganalisis waktu antar kedatangan sepeda motor, waktu pelayanan sepeda motor, waktu antar kedatangan mobil, dan waktu pelayanan mobil, sehingga diperoleh distribusi probabilitas yang sesuai untuk masing-masing data, sebagai berikut[5] :



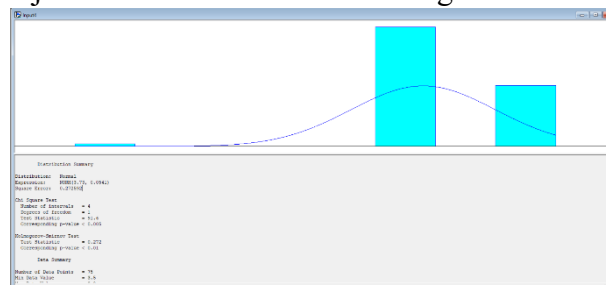
Gambar 1. Distribusi Waktu Kedatangan Motor

Gambar 1. menunjukkan distribusi waktu kedatangan motor $-0.001 + 5 * \text{BETA}(1.93, 0.739)$.



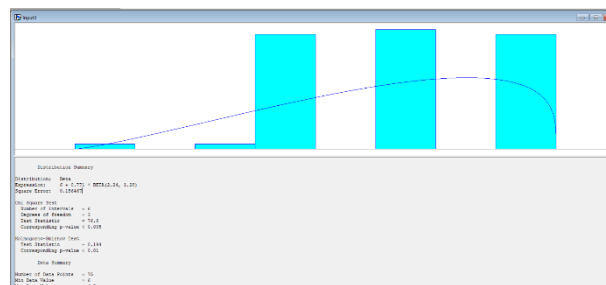
Gambar 2. Distribusi Waktu Kedatangan Mobil

Gambar 2. menunjukkan distribusi waktu kedatangan mobil $-0.001 + \text{WEIB}(4.63, 3.15)$



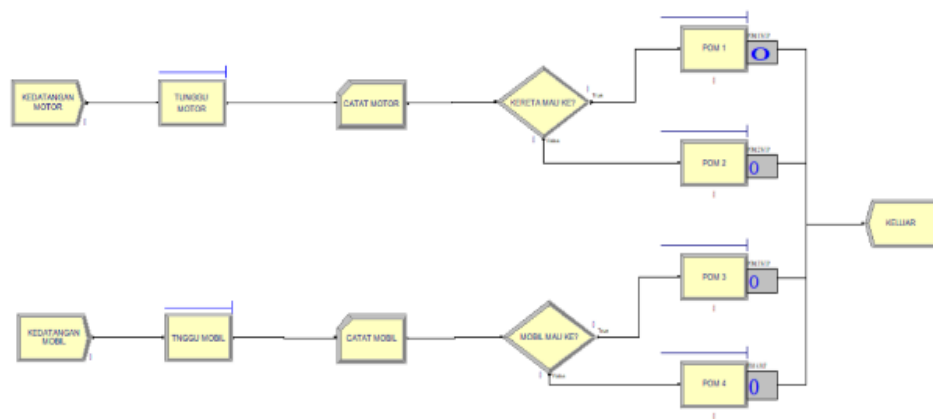
Gambar 3. Distribusi Waktu Pelayanan Motor

Dari Gambar 3. diketahui waktu pelayanan sepeda motor menggunakan distribusi $\text{NORM}(3.73, 0.0541)$ yang akan dimasukkan dalam modul *process* software ARENA.



Gambar 4. Distribusi Waktu Pelayanan Mobil

Dari Gambar 4. diketahui waktu pelayanan sepeda motor menggunakan distribusi $-0.001 + 5 * \text{BETA}(1.93, 0.739)$ yang akan dimasukkan dalam modul proses software ARENA seperti pada Gambar 5.



Gambar 5. Model Simulasi SPBU

4.3 Perhitungan Menggunakan Rumus M/M/C.

Untuk memverifikasi keselarasan antara data teoritis dan simulasi Arena yang mencerminkan kondisi nyata, dilakukan perhitungan menggunakan model M/M/c dengan C = 2 dan kalibrasi lambda. Berikut adalah langkah perhitungan rumus M/M/c, diikuti oleh perbandingan hasil dengan output simulasi Arena yang menunjukkan selisih kecil [3].

1) Perhitungan untuk Sepeda Motor

$$\lambda_m = 0.2916 \times 0.19 = 0.0554, \mu_m = 0.2683, C = 2.$$

$$\frac{\lambda}{\mu} = r = \frac{0.0554}{0.2683} = 0.2064$$

$$Utilisasi = \rho_m = \frac{\lambda m}{c \cdot \mu m} = \frac{0.0554}{2 \times 0.2683} = 0.1032$$

$$1 - \rho = 1 - 0.1032 = 0.8968$$

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

c=2, jadi $\sum_{n=0}^{c-1}$ berarti n=0, n=1:

$$n=0, \frac{0.2064^0}{0!} = 1$$

$$n=1, \frac{0.2064^1}{1!} = 0.2064$$

$$n=2, \frac{0.2064^2}{2! \cdot 0.8968} = \frac{0.0426}{1.7936} = 0.0237$$

$$P_0 = 1 + 0.2064 + 0.0237 = 1.2301$$

$$P_0 = \frac{1}{1.2301} = 0.8129 = 0.813$$

$$L_q = \frac{r^2 \cdot \rho}{c! \cdot (1-\rho)^2} \times P_0 = \frac{0.2064^2 \times 0.1032}{2(0.8968)^2} \times 0.813 = \frac{0.0426 \times 0.1032}{1.6085} \times 0.813 = 0.0022$$

$$L_s = L_q + \frac{\lambda}{\mu} = 0.0022 + 0.2064 = 0.2086$$

$$W_q = \frac{L_q}{\lambda} = \frac{0.0022}{0.0554} = 0.0397$$

$$W_s = W_q + \frac{1}{\mu} = 0.0397 + 3.7271 = 3.7668 \text{ menit, yang dilakukan untuk perhitungan}$$

untuk masing-masing POM.

2) Perhitungan Untuk Mobil.

$$\lambda_c = 0.2187 \times 0.2056 = 0.0449, \mu_c = 0.2745,$$

$$r = \frac{0.0449}{0.2745} = 0.1636$$

$$Utilisasi \rho_m = \frac{\lambda m}{c \mu m} = \frac{0,0449}{2 \times 0,2745} = 0,0818$$

$$1 - \rho = 1 - 0,0818 = 0,9182$$

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

$c=2$, jadi $\sum_{n=0}^{c-1}$ berarti $n=0, n=1$:

$$n=0, \frac{0,1636^0}{0!} = 1$$

$$n=1, \frac{0,1636^1}{1!} = 0,1636$$

$$n=2, \frac{0,1636^2}{2! \cdot 0,9182} = \frac{0,0267}{1,8364} = 0,0145$$

$$P_0 = 1 + 0,1636 + 0,0145 = 1,1781$$

$$P_0 = \frac{1}{1,1781} = 0,8486$$

$$L_q = \frac{0,1636^2 \times 0,0818}{2(0,9182)^2} \times 0,8486 = \frac{0,0267 \times 0,0818}{1,686} \times 0,8486 = 0,00109$$

$$L_s = 0,00109 + 0,1636 = 0,1647$$

$$W_q = \frac{L_q}{\lambda} = \frac{0,00109}{0,0449} = 0,0243 \text{ menit}$$

$$W_s = W_q + \frac{1}{\mu} = 0,0243 + 3,6425 = 3,6668 \text{ menit}$$

Perbandingan antara hasil perhitungan manual M/M/c dengan output simulasi Arena untuk kendaraan mobil dan sepeda motor untuk evaluasi kesesuaiannya seperti pada Tabel 1.

Tabel. 1 Perbandingan Hitungan Manual M/M/C dengan Hasil Arena

Entitas	Metrik	Manual (M/M/C)	Hasil Arena	Selisih
Mobil	Utilitas (ρ)	0,08322	0.08662703	0,00340703
	Lq	0,001574	0.00651767	0,00494367
	Ls	0,16714	0.1798	0,01266
	Wq	0,01676	0.1361	0,11934
	Ws	3,65926	3.7786	0,11934
Motor	Utilitas (ρ)	0,0885	0,008857117	0.000071175
	Lq	0,001484	0,00086944	0.00061456
	Ls	0,17848	0,1780	0.00048
	Wq	0,02998	0,01798228	0.01199772
	Ws	3,76362	3,7440	0.01962

4.4 Analisis Penjadwalan Metode Heuristik.

Berdasarkan hasil simulasi SPBU menggunakan perangkat lunak Arena, analisis penjadwalan heuristik ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja sistem, mengidentifikasi *bottleneck*, dan menentukan penyebab antrean panjang. Analisis ini akan menilai logika penjadwalan, distribusi kendaraan, waktu pelayanan, serta utilisasi sumber daya guna mengusulkan solusi dan rekomendasi perbaikan yang efisien dan praktis. Penjadwalan dalam simulasi SPBU ini menerapkan pendekatan heuristik dengan aturan *First-Come-First-Serve* (FCFS), di mana kendaraan dilayani berdasarkan urutan kedatangan di setiap pompa.

Hasil simulasi Arena menunjukkan performa sistem sebagai berikut:

- 1) Rata-rata WIP sebesar 0,1798 untuk mobil dan 0,1780 untuk sepeda motor, yang sangat rendah, menandakan aliran kendaraan berjalan lancar secara keseluruhan.
- 2) Rata-rata total waktu proses mobil 3,7786 menit dengan waktu pelayanan (*VA Time*) 3,6425 menit. Rata-rata total waktu proses sepeda motor 3,7440 menit dengan waktu pelayanan 3,7260 menit.

- 3) Utilisasi Pompa 1 (POM 1) sebesar 14,79% (melayani 62,67 kendaraan), POM 2 sebesar 2,92% (melayani 12,33 kendaraan), POM 3 sebesar 12,91% (melayani 56 kendaraan) dan POM 4 sebesar 4,42% (melayani 19 kendaraan).
- 4) Utilisasi pompa yang rendah (semua di bawah 15%) mengindikasikan adanya kapasitas berlebih, namun distribusi kendaraan yang tidak merata menyebabkan ketidakseimbangan beban kerja antar pompa.

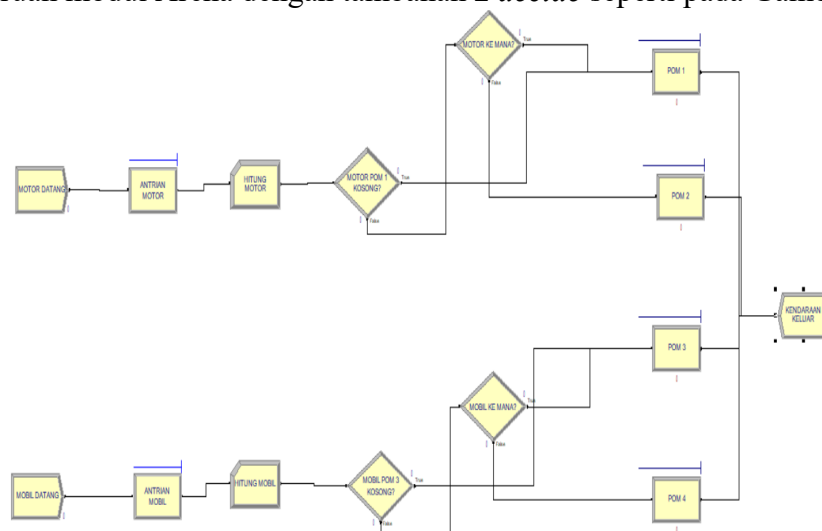
Bottleneck terjadi di POM 2 dan POM 4, meskipun utilisasinya rendah, berdasarkan data *queue waiting time*. *Bottleneck* terjadi karena beberapa faktor diantaranya:

- 1) Distribusi kendaraan tidak merata dimana prioritas penjadwalan membuat POM 1 (14,79%) dan POM 3 (12,91%) lebih sibuk dibandingkan POM 2 (2,92%) dan POM 4 (4,42%), menyebabkan penumpukan antrean saat POM 1 dan POM 3 penuh.
- 2) Kedatangan berkelompok dimana donjakan kedatangan mobil pada jam sibuk (16:00–17:24) dengan distribusi Weibull (WEIB(4.63, 3.15)) membebani POM 4.
- 3) Waktu pelayanan mobil lama dimana rata-rata waktu pelayanan mobil 6,4866 menit (maksimum 10,2373 menit) menyebabkan penundaan di POM 4.
- 4) Aturan FCFS memaksa kendaraan menunggu di POM 2 atau POM 4 meskipun POM 1 atau POM 3 kosong, memperpanjang waktu tunggu.

4.5 Penerapan Perbaikan Simulasi melalui Software Arena

Load balancing bertujuan mendistribusikan kendaraan ke pompa dengan antrean terpendek untuk meratakan beban kerja di POM 1, POM 2, POM 3, dan POM 4. Berdasarkan teori antrean, sistem M/M/c stabil jika $\rho < 1$ atau $\lambda < c\mu$. Dengan $\rho < 0,15$ (15%), sistem sangat responsif dan stabil, sehingga tidak perlu tambahan pompa. Fokus perbaikan adalah menyeimbangkan distribusi kendaraan untuk mengurangi *bottleneck* yaitu:

- 1) Penambahan replikasi sebanyak 10 replikasi sehingga menghasilkan metrik (*Waiting Time*, *Number Waiting*, *Utilization*) yang lebih akurat dengan *confidence interval* 95% yang sempit.
- 2) Untuk distribusi BETA dan Weibull dengan variabilitas tinggi, 10 replikasi meminimalkan dampak *outlier* (misalnya, *Waiting Time* tinggi akibat lonjakan kedatangan), memastikan analisis *bottleneck* di POM 2 dan POM 4 lebih stabil. Jurnal simulasi menyebutkan metode *absolute error* dengan tingkat kepercayaan 95% membutuhkan n replikasi, dengan $n = 10$ sebagai minimum untuk sistem variabilitas sedang-tinggi.
- 3) Pembaruan modul Arena dengan tambahan 2 *decide* seperti pada Gambar 6.



Gambar 6. Modul Arena dengan *Load Balancing*

Dari perbaikan sistem antrean SPBU yang dilakukan ada beberapa manfaat yang diperoleh diantaranya:

- 1) Pelayanan mobil lebih cepat dimana waktu tunggu mobil berkurang 0,037 menit dan waktu total turun 0,147 menit.
- 2) Antrean mobil berkurang dimana jumlah mobil yang antri menurun sebesar 0,0017.
- 3) Utilisasi pompa lebih seimbang dimana semua pompa lebih aktif dengan POM 1 (motor) naik ke 60%, POM 2 ke 29%, POM 3 (mobil) ke 61%, dan POM 4 ke 25%.
- 4) Antrean POM 4 turun signifikan sebesar 0,236 menit.

Namun terdapat beberapa kekurangan diantara:

- 1) Waktu tunggu motor sedikit meningkat yaitu 0,0012 menit dan di dalam sistem sebesar 0,0255 menit. Meski demikian, kenaikan ini sangat kecil (beberapa detik) dan hampir tidak terasa oleh pelanggan motor, dengan keuntungan bahwa mobil diprioritaskan untuk pelayanan lebih cepat.
- 2) Lebih banyak mobil dan motor berada di sistem, tetapi ini menunjukkan efisiensi pompa yang lebih tinggi, memungkinkan pelayanan lebih banyak kendaraan tanpa kemacetan besar. Hal ini memaksimalkan kapasitas SPBU, meningkatkan potensi pendapatan.

5. Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa sistem antrean SPBU Jalan Gatot Subroto mengalami bottleneck di POM 2 (waktu tunggu rata-rata 0.1202 menit, maksimum 2.243 menit) dan POM 4 (waktu tunggu rata-rata 0.3642 menit, maksimum 4.804 menit) karena distribusi kendaraan yang tidak seimbang, prioritas pada POM 1 dan POM 3, kedatangan mobil yang berkelompok, serta waktu pelayanan mobil yang lebih panjang (rata-rata 6.4866 menit, maksimum 10.2373 menit).

Penerapan *load balancing* meningkatkan efisiensi pelayanan mobil (W_q berkurang 0.0373 menit, W_s berkurang 0.1473 menit) dan utilisasi pompa (POM 1 MOTOR naik +0.4553, POM 3 MOBIL naik +0.4854), namun waktu tunggu motor sedikit bertambah (+0.0012 menit) dan jumlah kendaraan dalam sistem meningkat (L_s mobil +0.6965, motor +0.7306). Model M/M/c cukup akurat untuk sepeda motor (selisih L_s 0.00048), tetapi kurang sesuai untuk mobil karena distribusi kedatangan Weibull yang rumit, sehingga simulasi Arena memberikan hasil lebih realistis (selisih W_s mobil 0.11934 menit).

Solusi *load balancing* dan standarisasi waktu pelayanan terbukti efektif meningkatkan efisiensi, memungkinkan SPBU melayani lebih banyak kendaraan tanpa kemacetan signifikan.

Daftar Pustaka

- [1] M. A. Fikri and D. Andesta, “Memanfaatkan Software Arena Untuk Analisis Sistem Antrian Bbm Pada Spbu Xyz,” *JUSTI (Jurnal Sist. dan Tek. Ind.)*, vol. 4, no. 1, p. 98, 2023, doi: 10.30587/justicb.v4i1.6716.
- [2] M. Muqimuddin, A. A. Darmawan, and B. N. Abdallah, “Prioritas Penyelesaian Akar Masalah Kualitas Palm Kernel Oil Dengan Memperhatikan Uncertain Information,” *J. Optimasi Tek. Ind.*, vol. 4, no. 2, p. 51, 2022, doi: 10.30998/joti.v4i2.13631.
- [3] A. J. Matematika *et al.*, “Analisis Sistem Antrian dengan Model M / M / C dalam Meningkatkan Efektivitas Kinerja Sistem Program Studi Matematika Universitas Negeri Gorontalo , Indonesia Program Studi Statistika Universitas Negeri Gorontalo , Indonesia Program Studi Matematika Unive,” vol. 3, 2025.
- [4] A. Agung Dermawan, H. Nasution, and M. Haikal Sitepu, “The impact of branding on purchasing decision-making in mall shopping and online shopping,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 801, no. 1, 2020, doi: 10.1088/1757-899X/801/1/012146.
- [5] P. Arena-um, “USER’S GUIDE Arena ®,” no. November, 2007.
- [6] B. Khoshnevis, “Discrete-Systems-Simulation-Khoshnevis.pdf.” 1994.
- [7] A. Maria, “Introduction to modeling and simulation,” *Winter Simul. Conf. Proc.*, pp. 7–13, 1997, doi: 10.1145/268437.268440.
- [8] A. A. Dermawan, “Analisis Faktor-faktor Pengaruh Keputusan Pembelian Produk Kosmetik Skin Care melalui Offline dan Online,” 2020. [Online]. Available: <https://repositori.usu.ac.id/handle/123456789/28331>
- [9] S. P. Aji and T. Bodroastuti, “Penerapan Model Simulasi Antrian Multi Channel Single Phase Pada Antrian Di Apotek Purnama Semarang Applications of Multi Channel – Single Phase Simulation Model on the Queue At Semarang Purnama Pharmacy,” *J. Kaji. Akunt. Dan Bisnis*, vol. 1, no. 1, pp. 1–16, 2012.
- [10] K. P. Mentor, *Simulation Modeling Arena*. 2016.
- [11] I. L. Siallagan, D. E. Sirait, and J. A. B. Sinaga, “View of Analisis Antrian dalam Pengoptimalan Pelayanan Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum (SPBU) dengan menggunakan Model Antrian Multi Channel Single Phase.pdf.” 2024.
- [12] P. Setianah, H. A. Prabowo, and F. Farida, “View of Optimisasi Sistem Antrian di Era Pandemi Untuk Meningkatkan Kinerja Pelayanan Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum (SPBU).pdf.” *Journal of SOcial Science Research*, Jakarta, 2024.
- [13] S. I. Ahmad Saefulhadia*, Rully Astri Hildayatia, Cikita Berlian Hakima, “S IMULASI S ISTEM A NTRIAN P ELAYANAN P ERTALITE R ODA D UA D I,” vol. 5, no. 1, pp. 10–18, 2024.
- [14] D. Sudarwadi, T. M. Suruab, and M. M. Hutabarat, “View of Analisis Sistem Antrian Sepeda Motor di SPBU 83.983.02 Sowi Kabupaten Manokwari.pdf.” *Lensa Ekonomi*, 2021.
- [15] E. H. Pellondou, R. P. C. Fanggidae, and A. E. L. Nyoko, “View of ANALISIS TEORI ANTRIAN PADA JALUR SEPEDA MOTOR STASIUN PENGISIAN BAHAN BAKAR UMUM (SPBU) OEBOBO.pdf.”