



# Optimasi Waktu Penyelesaian Kuota Vaksin pada Layanan Vaksinasi di Pusat Perbelanjaan dengan Simulasi Kejadian Diskrit

Ivan Keane Hutomo, Khenny Hosana, Ivan Gunawan\*, Lusia Permata Sari Hartanti  
 Program Studi Teknik Industri, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya, Jl. Kalijudan No.37, Surabaya, Jawa Timur 60114, Indonesia

## INFORMASI ARTIKEL

Sejarah Artikel:

Artikel Masuk: 14 Juli 2022

Artikel direvisi: 24 November 2022

Artikel diterima: 14 Desember 2022

Kata kunci

Antrean Vaksinasi  
 Simulasi Kejadian Diskrit  
 Vaksinasi Massal COVID-19

Keywords

Vaccination Queue  
 Discrete-Event Simulation  
 COVID-19 Mass Vaccination

## ABSTRAK

Pemerintah Indonesia berjuang mengatasi pandemi COVID-19 ini dengan memberikan vaksin gratis terhadap masyarakat guna menciptakan herd immunity. Tempat penyelenggaraan vaksin yang terbatas dan desakan untuk segera menyelesaikan target vaksinasi memunculkan ide untuk menjadikan pusat perbelanjaan sebagai tempat vaksinasi massal. Pusat perbelanjaan hanya dapat menyediakan waktu yang terbatas untuk menyelenggarakan layanan vaksin. Layanan vaksin harus selesai sebelum pusat perbelanjaan beroperasi agar tidak mengganggu pengunjung pusat perbelanjaan. Studi ini bertujuan menemukan konfigurasi sistem antrean yang optimal untuk menyelesaikan kuota dosis vaksin yang diberikan pemerintah pada setiap penyelenggaraan vaksinasi massal di pusat perbelanjaan. Studi ini dilakukan pada konfigurasi sistem antrean vaksinasi massal yang diselenggarakan di lobi Galaxy Mall 3 di Surabaya. Model simulasi kejadian diskrit dikembangkan untuk merepresentasikan sistem nyata dan mengevaluasi konfigurasi sistem antrean vaksinasi booster. Tiga usulan skenario perbaikan yang aplikatif telah diuji. Hasilnya, skenario 3 (kombinasi skenario 1 dan skenario 2) yakni menggandakan kapasitas booth 4 dan mengurai penumpukan di ruang tunggu luar dengan meningkatkan ukuran kelompok peserta vaksin yang masuk dari 6 menjadi 9 merupakan strategi operasional yang paling efektif untuk meningkatkan performa sistem antrean. Waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan 250 dosis vaksin turun sebesar 45% dari 2,5350 jam pada kondisi awal menjadi 1,3989 jam pada skenario 3.

## ABSTRACT

The Indonesian government is struggling to overcome the COVID-19 pandemic by providing free vaccines to the public to create herd immunity. The limited venues for vaccines and the pressure to immediately complete the vaccination target made shopping centers a place for mass vaccinations. Shopping centers can only provide a limited time to provide vaccine services. Vaccine services must be completed before the shopping center operates so as not to disturb visitors. This study aims to find the optimal queue system configuration to complete the vaccine dose quota given by the government for each mass vaccination event in shopping centers. This study was conducted on the configuration of the mass vaccination queue system held at the Galaxy Mall 3 lobby in Surabaya. A discrete-event simulation model was developed to represent the actual system and evaluate the booster vaccination queuing system. There are three improvement scenarios proposed. As a result, scenario 3, which is the combination of scenario 1: doubling the capacity of booth 4 and scenario 2: breaking down the backlog in the outer waiting area by increasing the group size of incoming vaccines from 6 to 9, is the most effective operational strategy to improve the performance of the queuing system. The time taken to complete 250 doses of vaccine decreased by 45%, from 2.5350 hours in the base scenario to 1.3989 hours in scenario 3.

\* Penulis Korespondensi

Ivan Gunawan

E-mail:

[ivangunawan@ukwms.ac.id](mailto:ivangunawan@ukwms.ac.id)

This is an open-access article under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.



© 2023. Some rights reserved

## 1. PENDAHULUAN

Pada periode 1 Januari 2020-31 Desember 2021, pandemi COVID-19 telah mengakibatkan kematian lebih dari 16 juta penduduk di seluruh dunia ([World Health Organization, 2022](#)). Salah satu tindakan penanganan pandemi COVID-19 yang diyakini efektif untuk mengakhiri pandemi dan sedang dilakukan negara-negara di dunia adalah program vaksinasi massal untuk menciptakan *herd immunity* ([Kumar et al., 2021](#)). Terbatasnya jumlah vaksin yang mampu diproduksi menyebabkan ketidakmerataan distribusi vaksin di sebagian besar belahan dunia merupakan masalah yang harus dihadapi selanjutnya ([Su et al., 2021](#)). Masalah distribusi vaksin belum terselesaikan, sudah muncul beragam varian baru virus corona yang menuntut dilakukannya vaksin dosis ketiga atau vaksin *booster* untuk meningkatkan efektivitas vaksin menghadapi virus tersebut ([Chenchula et al., 2022](#); [Frederiksen et al., 2020](#)).

Sejak awal pandemi COVID-19 pemerintah Indonesia telah mematuhi berbagai arahan *World Health Organization* (WHO) guna menekan korban virus COVID-19. Pemerintah Indonesia melalui berbagai kementerian terkait juga bergerak secara aktif untuk mendapatkan pasokan vaksin bagi rakyat Indonesia. Pemerintah Indonesia bahkan berhasil menyediakan vaksin hingga dosis ketiga secara gratis bagi seluruh rakyat Indonesia agar *herd immunity* segera tercipta. Program vaksinasi massal di berbagai wilayah di Indonesia dilakukan secara bertahap mulai dari vaksin dosis pertama, dosis kedua, hingga dosis ketiga dengan rentang waktu tertentu antar dosisnya. Namun, jumlah penduduk Indonesia yang sangat besar mencapai lebih 272 juta jiwa menjadi tantangan tersendiri untuk mencapai target vaksinasi yang telah ditetapkan pemerintah ([Badan Pusat Statistik, 2022](#)). Penyebaran penduduk Indonesia yang tidak merata dengan penduduk paling padat di kota-kota besar di pulau Jawa menjadi tantangan selanjutnya dalam distribusi dan penyelenggaraan vaksinasi ([Drake, 2019](#)).

Sebaran penduduk Indonesia yang terpusat di kota-kota besar di pulau Jawa dan keterbatasan vaksin yang tersedia menyebabkan antrean yang tak terkendali pada setiap penyelenggaraan vaksin. Pada penelitian ini, antrean yang disebabkan antusiasme masyarakat untuk mendapatkan vaksin saat penyelenggaraan vaksinasi bagi penduduk di kota-kota besar di pulau Jawa menjadi perhatian utama. Antrean yang berlebihan hingga tidak jarang menyebabkan kerumunan menjadi sebuah masalah tersendiri mengingat salah satu protokol kesehatan di masa pandemi COVID-19 adalah menjaga jarak ([Aldila et al., 2020](#)). Ketika

terjadi kerumunan saat penyelenggaraan vaksin, peluang masyarakat yang sedang mengantri terpapar COVID-19 semakin tinggi.

Untuk mengurangi dampak buruk akibat antrean masyarakat yang ingin segera mendapatkan vaksin dan memperluas akses masyarakat dalam mendapatkan vaksin, pemerintah menyelenggarakan vaksinasi massal di berbagai fasilitas umum seperti pusat perbelanjaan. Pusat perbelanjaan yang terletak di lokasi strategis dengan berbagai fasilitas yang mendukung seperti lobi, atrium, dan aula yang luas dengan tempat parkir yang memadai akan mendukung pencapaian target vaksinasi di kota-kota besar di pulau Jawa. Di kota Surabaya, penyelenggaraan vaksinasi massal seringkali diadakan sebelum jam operasi pusat perbelanjaan dengan kuota vaksin tertentu dari pemerintah. Pusat perbelanjaan harus membuat konfigurasi tertentu agar kegiatan vaksinasi bisa selesai sebelum pusat perbelanjaan beroperasi.

Salah satu pusat perbelanjaan di Surabaya tempat penyelenggaraan vaksin adalah Galaxy Mall. Galaxy Mall merupakan pusat perbelanjaan di Surabaya Timur yang memiliki lobi, atrium, dan aula yang besar sehingga menjadi pilihan tempat yang tepat untuk pelaksanaan vaksinasi massal. Penelitian ini bertujuan menganalisis dan menentukan konfigurasi antrean yang tepat untuk menyelesaikan kuota vaksin yang telah disediakan per hari dengan waktu sesingkat mungkin dan tetap mematuhi *physical distancing*.

Beberapa penelitian terdahulu mengenai antrean vaksinasi massal COVID-19 telah dilakukan. [Valeriano et al. \(2021\)](#) melakukan penelitian deskriptif tentang pelaksanaan vaksinasi massal COVID-19 di Quezon City dengan teori antrean. [Villaflares et al. \(2021\)](#) melakukan simulasi dengan *software* Promodel dan mengusulkan konfigurasi baru penyelenggaraan vaksinasi massal di fasilitas kesehatan Metro Manila untuk mengurangi waktu tunggu dengan menggabungkan proses registrasi dan *screening*, menambah area vaksinasi yang sebelumnya hanya 1 menjadi 3, dan menambah *holding area* menjadi 2. [Wood et al. \(2021\)](#) juga mengusulkan konfigurasi untuk pusat vaksinasi massal di United Kingdom dengan menggabungkan proses penilaian klinis dan vaksinasi. Studi simulasi tersebut dilakukan pada dua pusat vaksinasi A dan B. Melalui penggabungan proses penilaian klinis dan vaksinasi di pusat vaksinasi B, *throughput* meningkat hingga 96%. [Hanly et al. \(2022\)](#) mengusulkan dua konfigurasi untuk pusat vaksinasi massal dan klinik vaksinasi di Australia. Pusat vaksinasi massal yang menjadi subjek kajian memiliki kapasitas 14 kali klinik vaksinasi. Kajian deskriptif terhadap konfigurasi

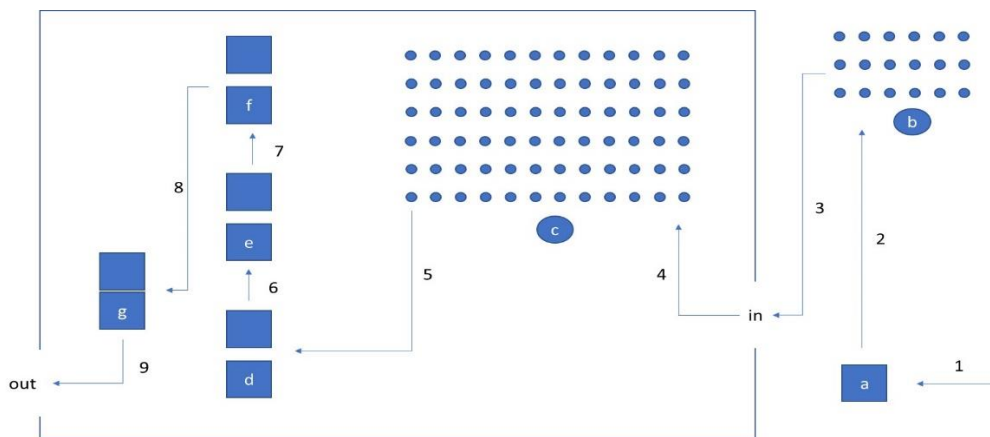
sistem antrian ini dilakukan dengan teori antrian. [Brambilla et al. \(2021\)](#) mengoptimalkan proses dan tata letak pusat vaksinasi massal dengan pendekatan simulasi. Model modular yang diusulkan bermanfaat untuk menghasilkan konfigurasi tata letak yang optimal ketika mengalihfungsikan fasilitas umum sebagai pusat vaksinasi selama darurat kesehatan. [Wood, Murch, et al. \(2021\)](#) melakukan kajian pada formasi struktur antrian pada pusat vaksinasi di Inggris dengan fokus pada efektivitas penggunaan sumber daya di setiap tahapan dengan tetap dapat mengakomodasi fluktuasi kedatangan peserta vaksin.

Setelah mengkaji berbagai penelitian terdahulu mengenai penyelenggaraan vaksinasi massal, celah penelitian pada ada pada tujuan penelitian dan parameter *terminating* yang digunakan. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan strategi konfigurasi yang paling efektif untuk secepat mungkin menyelesaikan kuota vaksin per hari yang diberikan oleh pemerintah agar tidak mengganggu jam operasional pusat perbelanjaan yang dialihfungsikan sementara menjadi pusat vaksinasi. Dengan demikian, parameter *terminating* yang digunakan adalah kuota vaksin harian dari pemerintah. Untuk mendapatkan konfigurasi yang paling efektif untuk menyelesaikan kuota vaksin yang diberikan, penelitian ini dilakukan

dengan pendekatan simulasi kejadian diskrit. [Hupert et al. \(2002\)](#) menyimpulkan bahwa permodelan simulasi secara diskrit adalah alat yang berguna dalam mengembangkan infrastruktur kesehatan masyarakat untuk menanggapi *bio-terrorism*. Dengan menyimulasikan sistem operasi atau proses kondisi nyata dari waktu ke waktu, model diskrit menyediakan bukti untuk mengembangkan dan menguji solusi operasional sebelum implementasi ([Saidani et al., 2021](#)).

## 2. METODE PENELITIAN

Studi dimulai dengan memformulasikan permasalahan dan menetapkan tujuan penelitian. Selanjutnya, pengumpulan data primer dilakukan melalui observasi langsung yang terstruktur. Data primer terdiri dari data struktural, data operasional, dan data numerik. Data struktural menjelaskan konfigurasi sistem antrian ([Gambar 1](#)). Data operasional terdiri dari seluruh logika dan informasi mengenai sistem antrian yang diamati seperti urutan proses atau rute entitas dan aturan yang diterapkan dalam sistem antrian. Data numerik terdiri dari kapasitas dari suatu fasilitas, tingkat kedatangan, waktu antar kedatangan, dan waktu pelayanan. Waktu antar kedatangan dan waktu pelayanan yang telah dikumpulkan kemudian dicari distribusi teoritisnya ([Tabel 1](#)).



**Gambar 1.** Layout Konfigurasi Sistem Antrian Layanan Vaksinasi Massal

**Tabel 1.** Deskripsi Operasional

Lokasi	Kode lokasi	Durasi (detik)	Penyebab Perpindahan
Pintu masuk	1	Exp (40)	Tidak ada
Booth screening	a	Uniform (14, 15)	Arahan petugas
Holding area sebelum masuk gate	b	Norm (621.4, 19.604)	Arahan petugas
Holding area setelah masuk gate	c	Uniform (309.63, 10.311)	Selesai pelayanan
Booth 1	d	Konstan 50	Selesai pelayanan
Booth 2	e	Konstan 49	Selesai pelayanan
Booth 3	f	Konstan 29	Selesai pelayanan
Booth 4	g	Konstan 209	Selesai pelayanan

Data tersebut selanjutnya dikembangkan menjadi model konseptual yang kemudian diterjemahkan menjadi model simulasi. Model simulasi dibangun menggunakan *software* Arena. Setelah model simulasi dasar terbentuk dilakukan verifikasi dan validasi model. Verifikasi, validitas, dan reproduktivitas model simulasi sangat penting untuk memberikan manfaat ilmiah, sosial, dan praktis, terutama untuk kemajuan dan pengetahuan operasional (Monks et al., 2019). Validasi model dilakukan dengan membandingkan rata-rata *output* dari model simulasi dengan kondisi nyata melalui uji 2 sampel t. Setelah model simulasi dasar dinyatakan valid, dilakukan pengembangan skenario perbaikan. Skenario 1 (S1) diusulkan karena *booth* 4 merupakan titik *bottleneck* dari sistem layanan vaksinasi (Tabel 1). Skenario 2 (S2) diusulkan untuk memperbesar input yang akan masuk ke dalam rangkaian sistem layanan vaksin guna menyeimbangkan kecepatan waktu pelayanan dengan ketersediaan peserta yang akan dilayani. Sedangkan skenario 3 (S3) merupakan kombinasi dari S1 dan S2 (Tabel 2). Selanjutnya, signifikansi performa dari skenario perbaikan yang diusulkan kemudian diuji dengan *Analysis of Variance* (ANOVA) dan uji 2 sampel t.

**Tabel 2.** Usulan Skenario Perbaikan

Skenario	Keterangan
Skenario 1 (S1)	Menggandakan kapasitas <i>booth</i> 4 dengan mereplikasi <i>booth</i> 4 yang dijalankan secara paralel
Skenario 2 (S2)	Memperbesar <i>batch</i> perpindahan peserta dari per 6 orang menjadi per 9 orang
Skenario 3 (S3)	Kombinasi S1 dan S2

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Situasi Permasalahan

Program vaksinasi ketiga (sering disebut sebagai *booster*) yang menjadi subjek pengamatan diadakan pada hari Sabtu, 19 Februari 2022 di lobi Galaxy Mall 3. Vaksinasi ini terbuka bagi masyarakat Surabaya yang ingin mendapatkan vaksin dosis ketiga AstraZeneca. Kuota vaksin yang disediakan yaitu berjumlah 250 dosis yang mulai diberikan sejak pukul 10.00 WIB hingga selesai.

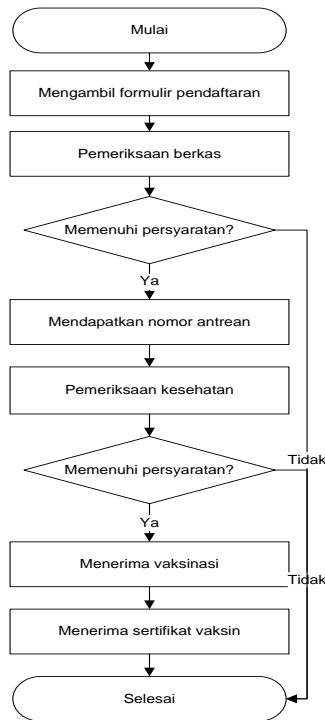
Gambar 1 menunjukkan *layout* tempat vaksinasi. Peserta vaksin datang untuk mengikuti program vaksinasi dapat menuju ke *booth screening* terlebih dahulu (ditunjukkan huruf a) untuk dilakukan pemeriksaan apakah sudah melakukan vaksin dosis dua atau belum dan untuk mendapatkan formulir riwayat kesehatan. Setelah

itu, peserta yang datang pada saat awal (*warming-up*) dan masih sepi dapat langsung menuju *booth* 1 (ditunjukkan huruf d) tanpa melalui *holding area* untuk melaksanakan pemeriksaan awal, seperti pengukuran suhu tubuh dan tekanan darah. Selain itu, petugas juga akan menanyakan beberapa hal yang berkaitan dengan riwayat kesehatan yang mungkin pernah/sedang dialami oleh masyarakat dan akan dicatat pada formulir yang telah didapatkan sebelumnya.

Ketika kondisi dalam sistem antrean sudah ramai (*steady state*), peserta akan diarahkan untuk menuju *holding area* sebelum *gate* (ditunjukkan huruf b) dan disediakan kursi untuk menunggu sebanyak 18 buah. Sebagian besar teori antrean berkaitan dengan kinerja sistem dalam keadaan *steady state*, artinya, kebanyakan model antrean mengasumsikan bahwa sistem telah beroperasi dengan tingkat kedatangan yang sama, waktu layanan rata-rata dan karakteristik lain untuk waktu yang cukup lama sehingga perilaku probabilistik dari ukuran kinerja seperti panjang antrean, dan keterlambatan pelanggan tidak tergantung pada saat sistem diamati (Green & Yih, 2016).

Banyaknya peserta yang diarahkan untuk masuk ke bagian c juga mengikuti pengelompokan sebanyak 6 orang per kedatangan. Selanjutnya peserta akan dipanggil secara individual menuju *booth* 1 untuk melaksanakan pemeriksaan awal. Peserta yang telah lolos pemeriksaan dan memenuhi persyaratan pada *booth* 1 kemudian akan diarahkan menuju *booth* 2 (ditunjukkan huruf e). Pada *booth* 2, peserta akan dibantu oleh petugas untuk memasukkan data (seperti nomor KTP, nama lengkap) pada sistem basis data. Data ini nantinya diperlukan untuk pembuatan sertifikat vaksin bagi peserta.

Setelah melakukan *input* data, peserta menuju *booth* 3 (ditunjukkan huruf f) untuk dilaksanakan proses vaksinasi yang akan dilakukan oleh petugas kesehatan. Terakhir, peserta yang telah melaksanakan vaksinasi akan diarahkan menuju *booth* 4 (ditunjukkan huruf g) untuk dibantu oleh petugas mencetak sertifikatnya. Selama di *booth* 4, peserta disediakan beberapa kursi untuk duduk sambil menunggu sertifikat vaksin selesai dicetak. Proses pencetakan sertifikat vaksin membutuhkan waktu yang relatif lebih lama sehingga terjadi *bottleneck* (Tabel 1). Antrean yang terjadi menyebabkan aliran kegiatan vaksinasi tidak dapat berjalan cepat dan menyebabkan durasi waktu menjadi lebih lama. Setelah mendapatkan sertifikat vaksin, masyarakat dipersilahkan untuk meninggalkan area vaksinasi. Secara keseluruhan aliran proses layanan vaksinasi massal ditunjukkan dalam Gambar 2.



Gambar 2. Logic Flow Diagram Layanan Vaksinasi

### 3.2. Model Simulasi

Model simulasi yang dikembangkan dengan menggunakan *software* Arena dapat dilihat pada Gambar 3. Model simulasi kemudian diverifikasi dan validasi. Verifikasi dilakukan dengan memeriksa kewajaran *output*, melihat animasi atau visualisasi model dan menggunakan fasilitas lacak dan *debug* dengan yang tersedia pada

*software* Arena. Hal yang sama dilakukan oleh Saidani et al. (2021) yang membandingkan *input* dan *output* untuk memvalidasi model. Model simulasi dapat dianggap valid ketika model tersebut merupakan representasi akurat dari sistem nyata, dan ketika domain penerapannya memiliki rentang akurasi yang memuaskan yang konsisten dengan penerapan model yang dimaksudkan (Sargent, 2010). Kebutuhan replikasi dari model simulasi dihitung dengan persamaan 1.

$$n' = n \times \frac{hw^2}{hw'^2} \quad (1)$$

$$n' = 10 \times \frac{(0,10)^2}{(0,05)^2} = 40 \text{ replikasi}$$

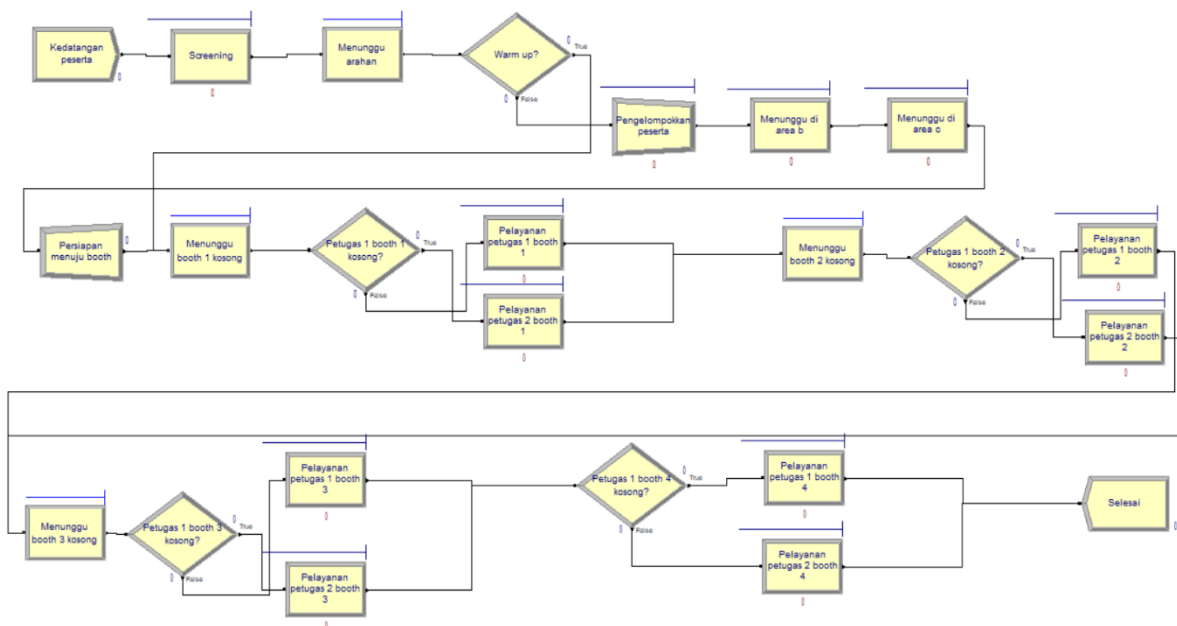
Dimana,  $n'$ : jumlah replikasi yang dibutuhkan;  $n$ : jumlah replikasi yang digunakan saat ini (10 replikasi);  $hw$ : *half width* yang dari replikasi yang digunakan saat ini; dan  $hw'$ : *half width* yang diharapkan. Dengan demikian replikasi yang dibutuhkan adalah 40 replikasi.

Validasi dilakukan dengan membandingkan *output* secara umum (performansi akhir) model simulasi dengan kondisi nyata. Perbandingan *output* simulasi dan kondisi nyata dilakukan dengan uji t. Dalam kondisi nyata untuk menyelesaikan kuota vaksin sejumlah 250 dosis dibutuhkan waktu selama 2,5 jam. Dengan demikian hipotesis yang digunakan dalam uji t adalah

$$H_0: \mu = 2,5$$

$$H_1: \mu \neq 2,5$$

*P-value* dari uji t didapatkan 0,141. *P-value* ini lebih besar dari  $\alpha=0,05$  sehingga mengindikasikan bahwa tidak cukup bukti untuk menolak  $H_0$ . Model simulasi dapat dinyatakan valid



Gambar 3. Model Simulasi Antrean Vaksinasi dengan Software Arena

### 3.3. Skenario Perbaikan

Ada 2 skenario tunggal dan 1 skenario kombinasi yang diusulkan untuk meningkatkan performa sistem antrean dalam menyelesaikan 250 dosis vaksin yang disediakan. Skenario tunggal yang diusulkan ini merupakan hasil kajian model dasar simulasi antrean vaksin dengan pertimbangan kelayakan untuk diimplementasikan. Skenario tunggal yang pertama (S1) adalah menggandakan kapasitas *booth* 4 yang menjadi titik *bottleneck* dan skenario tunggal yang kedua (S2) adalah memperbesar *batch* perpindahan dari per 6 orang menjadi per 9 orang. Fun et al. (2022) menyebutkan bahwa karakteristik operasional dalam model dapat diubah dengan melakukan analisis skenario untuk mengevaluasi kemungkinan dampak dari strategi dan mengidentifikasi strategi yang paling efektif tanpa mengubah ketahanan sistem yang sebenarnya.

Tabel 3 menunjukkan statistik deskriptif hasil simulasi setiap skenario perbaikan dengan 40 replikasi. Pada kondisi awal (BS) yang telah direplikasi sebanyak 40 kali, rata-rata waktu menyelesaikan 250 dosis vaksin yakni 2,535 jam dengan standar deviasi 0,1474 jam. Rentang waktu yang didapatkan dalam 40 kali replikasi adalah 2,1972-2,963 jam.

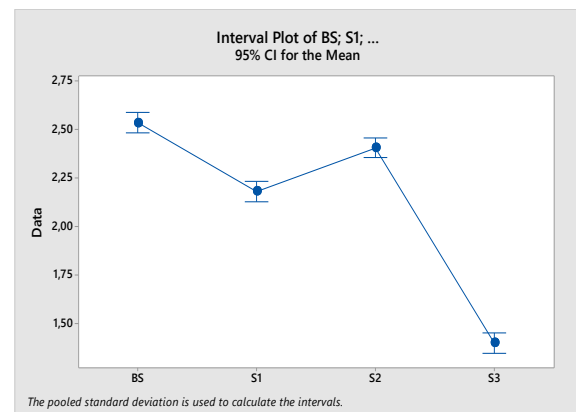
Tabel 3. Statistik Deskriptif BS, S1, S2, dan S3

Skenario	Mean (jam)	StDev (jam)	Min (jam)	Max (jam)
BS	2,535	0,1474	2,1972	2,9630
S1	2,181	0,2198	1,4748	2,5286
S2	2,406	0,1453	2,0626	2,6581
S3	1,399	0,1389	1,0980	1,6607

Skenario 1 (S1) yang direplikasi sebanyak 40 kali menghasilkan rata-rata waktu penyelesaian 250 dosis vaksin sebesar 2,1809 jam dengan standar deviasi 0,2198 jam. Rentang waktu untuk menyelesaikan 250 dosis vaksin antara 1,4748-2,5286 jam. Waktu rata-rata S1 ini lebih rendah daripada BS.

Angka perpindahan dengan kelompok 9 peserta pada Skenario 2 (S2) diperoleh dari hasil percobaan dari 1 peserta sampai kelompok 15 peserta dan diperoleh kelompok 9 peserta memberikan pengaruh terhadap penurunan waktu penyelesaian 250 dosis vaksin terbesar. Oleh karena itu, pada S2 dipilih kelompok perpindahan 9 peserta. Rata-rata waktu penyelesaian vaksin pada S2 didapatkan 2,4058 jam dengan standar deviasi 0,1453 jam. Rentang waktu penyelesaian 250 dosis vaksin pada S2 dengan 40 replikasi didapatkan 2,0626-2,6581 jam. Waktu rata-rata S2 ini juga lebih rendah daripada BS.

Skenario 3 (S3) merupakan gabungan S1 dan S2. Pada S3 rata-rata waktu penyelesaian 250 dosis vaksin sebesar 1,3989 jam atau hanya sekitar 55% rata-rata waktu BS. Standar deviasi pada S3 didapatkan 0,1389 jam dengan rentang performansi dari 40 replikasi 1,0980-1,6607 jam. Secara deskriptif terlihat bahwa S3 paling efektif mereduksi waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan 250 dosis vaksin dengan asumsi laju kedatangan peserta tidak berubah. Temuan ini didukung oleh visualisasi data dengan interval plot pada Gambar 4 yang menunjukkan bahwa S3 memiliki rata-rata waktu penyelesaian terendah.



Gambar 4. Interval Plot BS, S1, S2, dan S3

Hasil dari simulasi skenario perbaikan ini kemudian diuji lebih lanjut dengan *Analysis of Variance* (ANOVA). Hipotesis yang digunakan dalam pengujian ANOVA adalah  $H_0$ : rata-rata waktu penyelesaian 250 dosis vaksin untuk semua skenario sama  $H_1$ : paling tidak ada satu skenario dengan rata-rata penyelesaian 250 dosis vaksin berbeda. Hasil dari ANOVA ditunjukkan pada Tabel 4. Pada Tabel 4 *p-value* dari ANOVA menunjukkan nilai 0. *P-value* < 0,05 dengan demikian dapat dinyatakan bahwa  $H_0$  ditolak. Dengan demikian, ada perbedaan waktu rata-rata penyelesaian 250 dosis vaksin tersebut.

Tabel 4. Hasil ANOVA

Source	df	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Factor	3	31,090	10,3632	375,3	0
Error	156	4,308	0,02760		
Total	159	35,397			

Selanjutnya uji 2 sampel t dilakukan untuk mengetahui skenario mana saja yang rata-rata waktu penyelesaian 250 dosis vaksinnya berbeda. Setiap skenario diuji terhadap BS. Rangkuman hasil pengujian ini dapat dilihat pada Tabel 5.

**Tabel 5.** Uji 2 Sampel t untuk Setiap Skenario

Sampel 1	Sampel 2	P-value
BS	S1	0,000
BS	S2	0,000
BS	S3	0,000

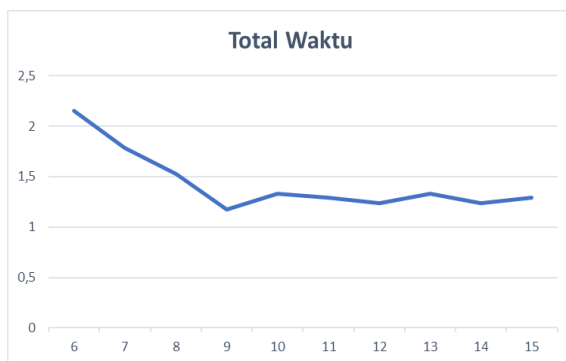
Hipotesis yang digunakan dalam uji 2 sampel t adalah

$$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$$

$$H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$$

*P-value* hasil uji 2 sampel t pada Tabel 5 semuanya menunjukkan nilai yang lebih kecil dari  $\alpha=0,05$ . Kondisi ini mengindikasikan bahwa  $H_0$  ditolak sehingga rata-rata waktu penyelesaian untuk semua skenario berbeda signifikan dengan BS.

Percobaan lanjutan dilakukan pada S3 dengan mengubah perpindahan *batch* peserta dari per 6 peserta hingga per 15 peserta. Sumbu Y menunjukkan waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan 250 dosis vaksin dalam jam dan sumbu X menunjukkan ukuran *batch* perpindahan peserta vaksinasi (Gambar 5). Ternyata perubahan ukuran *batch* pada skenario kombinasi pun tidak memberikan pengaruh yang berarti bagi peningkatan performa sistem antrean. Ukuran *batch* perpindahan setiap 9 peserta tetap merupakan skenario terbaik untuk menurunkan waktu rata-rata penyelesaian 250 dosis vaksin. Dengan menggunakan indikator kinerja: waktu penyelesaian kuota vaksin sebanyak 250 dosis, skenario terbaik yang dapat diusulkan adalah menggandakan kapasitas *booth* 4 dan mengubah Ukuran *batch* perpindahan per 6 peserta menjadi per 9 peserta.



**Gambar 5.** Pengujian Sensitivitas Solusi Optimal

Simulasi dalam penelitian ini merupakan penerapan dari teori antrean yang menyajikan interaksi antara kapasitas dari suatu fasilitas, tingkat kedatangan, waktu antar kedatangan, dan waktu pelayanan untuk menjawab pertanyaan mengenai konfigurasi sistem antrean yang optimal untuk menyelesaikan 250 dosis vaksin. Menurut Bhat (2015), secara dasar antrean dapat dicirikan

oleh tiga komponen: tingkat kedatangan ke dalam antrean, waktu layanan, dan jumlah *server*. Teori antrean menawarkan cara untuk meningkatkan kepuasan pelanggan dan menentukan jumlah *server* dengan memodelkan proses antrean dan menyeimbangkan faktor-faktor dalam antrean (Hanly et al., 2022).

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa simulasi dapat digunakan untuk menghasilkan skenario perbaikan layanan vaksinasi. Hasil setiap skenario dapat digunakan untuk mengambil keputusan yang lebih tepat dalam menentukan jumlah *booth* 4 dan jumlah *batch* perpindahan peserta. Hal ini serupa dengan penelitian yang dilakukan oleh (Asgary et al., 2022) yang menggunakan metode simulasi dalam memodelkan sistem operasi di klinik dalam memberikan layanan vaksinasi dan ditemukan bahwa dengan memperbesar kapasitas maka akan memberikan dampak minimal pada waktu tunggu. Peningkatan kapasitas ini tidak bisa serta merta dilakukan pada keseluruhan lini, perlu ada kajian untuk mengetahui titik mana atau stasiun kerja mana yang menjadi titik-titik *bottleneck*.

Skenario terbaik yang dihasilkan dari simulasi adalah skenario 3, yaitu menggandakan kapasitas *booth* 4 dan mengubah ukuran *batch* perpindahan peserta dari per 6 peserta menjadi per 9 peserta. Dalam kasus ini, peningkatan ukuran *batch* perpindahan peserta ini bisa diasosiasikan dengan peningkatan kapasitas *input*. Dengan penambahan kapasitas *booth* dan jumlah peserta di kelompok maka akan mengakibatkan perubahan tata letak layanan vaksin. Villaflares et al. (2021) melakukan penelitian untuk meningkatkan proses sistem vaksinasi dan membuat model yang dapat menghasilkan tata letak proses yang jauh lebih tepat dan fungsional. Hasil penelitian Villaflares et al. (2021) menunjukkan bahwa tata letak usulan memberikan aliran proses yang jauh lebih baik, yaitu peningkatan jumlah peserta vaksin dari 2.821 peserta setiap 8 jam menjadi 17.085 peserta setiap jam. Selain itu, terdapat penghematan waktu operasi dari 68 menit 22 detik menjadi 39 menit 15 detik.

Brambilla et al. (2021) mengungkapkan bahwa dalam merancang fasilitas kesehatan apapun, penting untuk menilai kesesuaian lokasi, hal ini menjadi semakin jelas dan penting di masa pandemi COVID-19 untuk menjamin kesehatan, keselamatan, dan keamanan. Penelitian ini memiliki keterbatasan dalam hal integrasi model dengan tata letak. Skenario perbaikan dengan mempertimbangkan metode perancangan tata letak dapat menghasilkan alternatif tata letak yang berbeda sehingga dapat digunakan sebagai pilihan untuk mengambil keputusan yang paling sesuai dengan ruang yang tersedia.

#### 4. KESIMPULAN

Observasi secara langsung dan terstruktur menghasilkan 3 jenis data primer yang dibutuhkan dalam studi simulasi. Data tersebut kemudian dikembangkan menjadi model konseptual yang dibutuhkan sebagai dasar mengembangkan model simulasi. Pendekatan simulasi kejadian diskrit berhasil dalam membantu mengidentifikasi permasalahan dalam konfigurasi sistem antrean vaksinasi booster di lobi Galaxy Mall 3. Dua masalah pada konfigurasi sistem antrean saat ini adalah penumpukan peserta di ruang tunggu luar, dikarenakan petugas hanya mengizinkan setiap 6 orang peserta dari ruang tunggu luar ke ruang tunggu dalam dan *bottleneck* pada *booth* 4. Dengan memahami struktur antrean layanan vaksinasi, skenario perbaikan dapat dikembangkan untuk meningkatkan performa sistem antrean. Tiga skenario perbaikan diusulkan dalam studi simulasi yang dilakukan yakni menggandakan kapasitas *booth* 4 (S1), menambah ukuran *batch* perpindahan peserta dari per-enam orang menjadi per-semilan orang (S2), dan kombinasi kedua skenario tunggal tersebut (S3). Hasilnya skenario perbaikan yang paling efektif untuk meningkatkan sistem antrean layanan vaksinasi adalah kombinasi dari kedua skenario tunggal (S3). Skenario ini secara teoritis akan memangkas waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan 250 dosis vaksin sebesar 45% dari konfigurasi saat ini.

Pada penelitian selanjutnya dapat dikembangkan model dengan menggunakan parameter baru, seperti kondisi ruang ukuran ruang, jumlah ketersediaan vaksin, isu kesehatan dan keselamatan, serta penyesuaian lain sehingga hasil simulasi lebih dapat memberikan manfaat secara luas.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Aldila, D., Khoshnaw, S. H. A., Safitri, E., Anwar, Y. R., Bakry, A. R. Q., Samiadji, B. M., Anugerah, D. A., GH, M. F. A., Ayulani, I. D., & Salim, S. N. (2020). A mathematical study on the spread of COVID-19 considering social distancing and rapid assessment: The case of Jakarta, Indonesia. *Chaos, Solitons & Fractals*, *139*, 110042. <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2020.110042>
- Asgary, A., Blue, H., Cronemberger, F., & Ni, M. (2022). Simulating a Hockey Hub COVID-19 Mass Vaccination Facility. *Healthcare*, *10*(5), 843. <https://doi.org/10.3390/healthcare10050843>
- Badan Pusat Statistik. (2022). *Jumlah Penduduk Pertengahan Tahun (Ribu Jiwa), 2020-2022*. Badan Pusat Statistik. <https://www.bps.go.id/indicator/12/1975/1/jumlah-penduduk-pertengahan-tahun.html>
- Bhat, U. N. (2015). *An Introduction to Queueing Theory* (Vol. 36). Birkhäuser Boston. <https://doi.org/10.1007/978-0-8176-8421-1>
- Brambilla, A., Mangili, S., Macchi, M., Trucco, P., Perego, A., & Capolongo, S. (2021). Covid-19 Massive Vaccination Center Layouts. A Modular and Scalable Model for Lombardy Region, Italy. *Acta Bio Medica: Atenei Parmensis*, *92*(6), 1–11. <https://doi.org/10.23750/abm.v92iS6.12229>
- Chenchula, S., Karunakaran, P., Sharma, S., & Chavan, M. (2022). Current evidence on efficacy of COVID-19 booster dose vaccination against the Omicron variant: A systematic review. *Journal of Medical Virology*, *94*(7), 2969–2976. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/jmv.27697>
- Drake, C. (2019). *National Integration in Indonesia: Patterns and Policies*. University of Hawaii Press. <https://books.google.co.id/books?id=TVrGDwAAQBAJ>
- Frederiksen, L. S. F., Zhang, Y., Foged, C., & Thakur, A. (2020). The Long Road Toward COVID-19 Herd Immunity: Vaccine Platform Technologies and Mass Immunization Strategies. *Frontiers in Immunology*, *11*, 1817. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2020.01817>
- Fun, W. H., Tan, E. H., Khalid, R., Sararaks, S., Tang, K. F., Ab Rahim, I., Md. Sharif, S., Jawahir, S., Sibert, R. M. Y., & Nawawi, M. K. M. (2022). Applying Discrete Event Simulation to Reduce Patient Wait Times and Crowding: The Case of a Specialist Outpatient Clinic with Dual Practice System. *Healthcare*, *10*(2), 189. <https://doi.org/10.3390/healthcare10020189>
- Green, L., & Yih, Y. (2016). Queueing Theory and Modeling\*. In *Handbook of Healthcare Delivery Systems* (pp. 235–252). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b10447-20>
- Hanly, M., Churches, T., Fitzgerald, O., Caterson, I., MacIntyre, C. R., & Jorm, L. (2022). Modelling vaccination capacity at mass vaccination hubs and general practice clinics: a simulation study. *BMC Health Services Research*, *22*(1), 1–11. <https://doi.org/10.1186/s12913-022-08447-8>
- Hupert, N., Mushlin, A. I., & Callahan, M. A. (2002). Modeling the Public Health Response to Bioterrorism: Using Discrete Event Simulation to Design Antibiotic Distribution Centers. *Medical Decision*



- Making*, 22(1), 17–25.  
<https://doi.org/10.1177/027298902237709>
- Kumar, P., Erturk, V. S., & Murillo-Arcila, M. (2021). A new fractional mathematical modelling of COVID-19 with the availability of vaccine. *Results in Physics*, 24, 104213.  
<https://doi.org/10.1016/j.rinp.2021.104213>
- Monks, T., Currie, C. S. M., Onggo, B. S., Robinson, S., Kunc, M., & Taylor, S. J. E. (2019). Strengthening the reporting of empirical simulation studies: Introducing the STRESS guidelines. *Journal of Simulation*, 13(1), 55–67.  
<https://doi.org/10.1080/17477778.2018.1442155>
- Saidani, M., Kim, H., & Kim, J. (2021). Designing optimal COVID-19 testing stations locally: A discrete event simulation model applied on a university campus. *PLOS ONE*, 16(6), e0253869.  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0253869>
- Sargent, R. G. (2010). Verification and validation of simulation models. *Proceedings of the 2010 Winter Simulation Conference*, 166–183.  
<https://doi.org/10.1109/WSC.2010.5679166>
- Su, Z., McDonnell, D., Li, X., Bennett, B., Šegalo, S., Abbas, J., Cheshmehzangi, A., & Xiang, Y.-T. (2021). COVID-19 Vaccine Donations—Vaccine Empathy or Vaccine Diplomacy? A Narrative Literature Review. *Vaccines*, 9(9), 1024.  
<https://doi.org/10.3390/vaccines9091024>
- Valeriano, C. M. C., Ilo, C. K. K., Illescas, M. K. A., Dahilig, J. A. V., & Estember, R. D. (2021). Queuing Theory: A Case Study in Analyzing the Vaccination Service in Quezon City. *The International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, 2521–2531.  
[http://ieomsociety.org/proceedings/2021\\_monterrey/439.pdf](http://ieomsociety.org/proceedings/2021_monterrey/439.pdf)
- Villaflores, J. A. J., Llegos, M. Z. A., Guna, U. K. L., Faminiano, M. A. F., Cruzado, L. D., Mendoza, K. R., & Reyes, J. E. A. (2021). Process Improvement of COVID-19 Vaccination System by utilizing Queuing Theory and ProModel Simulator on Vaccination Facilities in Metro Manila. *The Second Asia Pacific International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, 1, 2075–2085.  
[http://ieomsociety.org/proceedings/2021\\_indonesia/392.pdf](http://ieomsociety.org/proceedings/2021_indonesia/392.pdf)
- Wood, R. M., Moss, S. J., Murch, B. J., Davies, C., & Vasilakis, C. (2021). Improving COVID-19 vaccination centre operation through computer modelling and simulation. *medRxiv*, 1–21.  
<https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2021.03.24.21253517v1>
- Wood, R. M., Murch, B. J., Moss, S. J., Tyler, J. M. B., Thompson, A. L., & Vasilakis, C. (2021). Operational research for the safe and effective design of COVID-19 mass vaccination centres. *Vaccine*, 39(27), 3537–3540.  
<https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2021.05.024>
- World Health Organization. (2022). *14.9 million excess deaths associated with the COVID-19 pandemic in 2020 and 2021*. World Health Organization.  
<https://www.who.int/news/item/05-05-2022-14.9-million-excess-deaths-were-associated-with-the-covid-19-pandemic-in-2020-and-2021>