

SIMULASI ANTRIAN TAP-OUT PENUMPANG KRL DI STASIUN MENGGUNAKAN MODEL SIMULASI DISKRIT

Nice Putri Mentari^{1*}, Fauzan Indra Kusuma², Dewi Oktafiani³, Hardiyanti⁴

¹²Prodi S1 Informatika STMIK Amikom Surakarta, ³Prodi S1 Teknologi Informasi STMIK Amikom Surakarta, ⁴Prodi S1 Teknologi Informasi Institut Kesehatan dan Teknologi Kartini Batam

Korespondensi e-mail: ¹nice.10431@mhs.amikomsolo.ac.id,

²fauzan.10432@mhs.amikomsolo.ac.id, ³dewioktafiani@dosen.amikomsolo.ac.id,

⁴hardiyanti@ikt kartinibatam.ac.id

Abstrak

Permasalahan antrean pada proses tap keluar di stasiun KRL sering terjadi pada jam sibuk akibat keterbatasan jumlah gate serta perbedaan waktu layanan antara pengguna kartu dan barcode. Kondisi ini menyebabkan penumpukan penumpang dan meningkatnya waktu tunggu. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh jumlah gate terhadap waktu tunggu penumpang serta menentukan kapasitas optimal agar proses keluar berjalan lebih efisien. Data penelitian diperoleh melalui observasi lapangan terkait pola kedatangan penumpang dan perbedaan waktu layanan, kemudian digunakan sebagai dasar penyusunan parameter simulasi. Metode yang digunakan adalah simulasi peristiwa diskrit (*discrete-event simulation*) berbasis Python dan SimPy dengan variasi jumlah gate sebanyak 3, 4, 5, 6, dan 7 unit. Hasil simulasi menunjukkan bahwa penambahan jumlah gate secara konsisten menurunkan waktu tunggu, di mana konfigurasi 3 gate menghasilkan waktu tunggu rata-rata 97,37 detik dan konfigurasi 7 gate menurunkannya menjadi 38,93 detik. Temuan ini menegaskan bahwa peningkatan kapasitas gate merupakan langkah strategis untuk mengurangi antrean dan meningkatkan kelancaran arus keluar penumpang di stasiun KRL.

Kata kunci: simulasi; antrian; kapasitas gate; transportasi; SimPy

Abstract

Queuing problems during the tap-out process at commuter train stations often occur during peak hours due to the limited number of gates and the difference in service times between card and barcode users. This condition leads to passenger congestion and increased waiting times. This study aims to analyze the effect of the number of gates on passenger waiting times and determine the optimal capacity for a more efficient exit process. Research data was obtained through field observations of passenger arrival patterns and differences in service times, then used as the basis for developing simulation parameters. The method used was a discrete-event simulation based on Python and SimPy with varying numbers of gates: 3, 4, 5, 6, and 7. The simulation results showed that increasing the number of gates consistently reduced waiting times, with a 3-gate configuration resulting in an average wait time of 97.37 seconds and a 7-gate configuration reducing it to 38.93 seconds. These findings confirm that increasing gate capacity is a strategic step to reduce queues and improve the smooth flow of passengers exiting commuter train stations.

Keywords: *simulation; queue; gate capacity; transportation; SimPy*

PENDAHULUAN

Stasiun KRL merupakan salah satu simpul transportasi dengan tingkat kepadatan tinggi, terutama pada jam sibuk ketika penumpang keluar dalam jumlah besar pada waktu yang hampir bersamaan. Salah satu titik layanan yang sering menjadi sumber kemacetan adalah proses tap out di gate keluar. Permasalahan ini diperburuk oleh perbedaan waktu layanan antara pengguna kartu dan barcode, di mana barcode membutuhkan waktu pemrosesan lebih lama sehingga menyebabkan aliran pengguna melambat dan antrean menumpuk. Fenomena ini berdampak pada kenyamanan penumpang dan efisiensi operasional stasiun.

Observasi lapangan dilakukan untuk memperoleh gambaran mengenai pola kedatangan penumpang, perbedaan waktu pelayanan kartu dan barcode, serta kondisi antrean pada jam sibuk. Parameter ditentukan berdasarkan hasil observasi lapangan yang dilakukan pada jam sibuk, sehingga masih mencerminkan kondisi operasional yang umum terjadi. Pendekatan ini memastikan bahwa simulasi tetap memiliki dasar empiris dan dapat menggambarkan situasi nyata secara representatif.

Berbagai penelitian sebelumnya telah membahas masalah antrean pada fasilitas transportasi. Agtalia et al. menunjukkan bahwa kapasitas layanan memiliki pengaruh besar terhadap waktu tunggu penumpang [1]. Vewawati et al. menemukan bahwa kepadatan pada titik keluar merupakan penyebab utama terjadinya penumpukan di stasiun KRL [2]. Wang (2023) mensimulasikan aliran pejalan kaki dan menunjukkan bahwa penambahan jalur keluar dapat mengurangi waktu tunggu secara signifikan [3]. Studi lain juga menyatakan bahwa konfigurasi gate dan desain area keluar berpengaruh terhadap performa antrean [4]. Namun, belum ada kajian yang secara khusus mensimulasikan proses tap out penumpang KRL dengan mempertimbangkan perbedaan waktu layanan kartu dan barcode serta variasi jumlah gate sebagai faktor utama dalam pembentukan antrean.

Berdasarkan celah penelitian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh jumlah gate terhadap waktu tunggu penumpang pada proses tap out di stasiun KRL menggunakan metode simulasi peristiwa-diskrit (discrete-event simulation) berbasis Python dan SimPy. Penelitian juga bertujuan menentukan jumlah gate optimal agar waktu tunggu dapat berada di bawah batas pelayanan yang diharapkan. Hasil penelitian diharapkan memberikan kontribusi pada pengelolaan kapasitas dan peningkatan kualitas layanan di stasiun KRL, terutama pada jam-jam dengan tingkat kepadatan tinggi.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian ini menjelaskan tahapan penelitian yang dilakukan secara terstruktur mulai dari perancangan model, penyusunan parameter, pembuatan flowchart, implementasi algoritma simulasi, hingga pengujian skenario. Pendekatan yang digunakan adalah simulasi peristiwa-diskrit (discrete-event simulation), yang banyak digunakan untuk menganalisis sistem antrian dan dinamika layanan yang berubah sepanjang waktu sebagaimana dijelaskan pada penelitian sebelumnya [1],[2].

2.1. Rancangan Penelitian

Penelitian dirancang untuk memodelkan proses tap out penumpang pada gate keluar stasiun KRL dengan menggunakan data observasi lapangan sebagai dasar penentuan parameter simulasi. Tahapan penelitian meliputi: (1) observasi sistem nyata, (2) penyusunan parameter simulasi, (3) perancangan alur proses dalam bentuk flowchart, (4) implementasi model dengan Python dan SimPy, (5) pengujian skenario jumlah gate, dan (6) analisis hasil. Pendekatan ini mengikuti prinsip pemodelan simulasi transportasi publik pada penelitian terdahulu [3],[4].

2.2. Flowchart Model Simulasi

Flowchart digunakan untuk menggambarkan alur proses sistem mulai dari kedatangan penumpang, proses antrean, layanan tap out, hingga penumpang meninggalkan sistem. Flowchart ini memastikan bahwa logika pemodelan sesuai dengan mekanisme operasional di lapangan dan mengikuti prinsip simulasi peristiwa-diskrit [5].



Gambar 1. Flowchart Proses Simulasi Tap Out.

2.3. Parameter Penelitian

Parameter penelitian ditetapkan berdasarkan observasi lapangan dan penyesuaian. Parameter ini digunakan untuk merepresentasikan kondisi jam sibuk di stasiun KRL dan menjadi dasar bagi model simulasi. Parameter lengkap ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter Simulasi dan Asumsi Penelitian

Parameter	Nilai	Keterangan
Total penumpang	170 orang	Per 30 menit (jam sibuk)
Distribusi penumpang	70% kartu, 30% barcode	Berdasarkan simulasi
Waktu layanan kartu	4-6 detik	Lebih cepat
Waktu layanan barcode	11-17 detik	Lebih lambat
Durasi simulasi	30 menit	Real-time
Jenis Simulasi	Discrete-event simulation	Dengan SimPy

2.4. Skenario Pengujian

Untuk mengamati pengaruh jumlah gate terhadap waktu tunggu penumpang, penelitian ini menggunakan lima skenario jumlah gate. Setiap skenario dijalankan secara terpisah untuk memperoleh nilai rata-rata waktu tunggu dan mengamati perubahan performa sistem. Skenario tersebut ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Skenario Jumlah Gate yang Diuji

Skenario	Jumlah Gate	Tujuan
1	3 gate	Kondisi padat/kapasitas rendah
2	4 gate	Kapasitas sedang
3	5 gate	Peningkatan kapasitas
4	6 gate	Target waktu tunggu rendah
5	7 gate	Kapasitas Optimal

2.5. Waktu Layanan

Waktu layanan pada proses tap out berbeda antara pengguna kartu dan barcode. Perbedaan ini mengikuti kondisi yang diamati di lapangan dan digunakan sebagai input simulasi. Waktu layanan lengkap ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Waktu Layanan Berdasarkan Jenis Pengguna

Jenis Pengguna	Waktu Layanan	Keterangan
Kartu	4-6 detik	Lebih cepat
Barcode	11-17 detik	Lebih lambat

2.6. Algoritma Sistem Penelitian

Algoritma utama model mengikuti mekanisme antrean multi-server sebagaimana digunakan pada penelitian simulasi antrian [6]. Algoritma secara umum meliputi: inisialisasi lingkungan simulasi, menentukan jumlah gate, menghasilkan kedatangan penumpang, memproses antrean, memberikan layanan tap out, dan menyelesaikan simulasi.

Algoritma proses penumpang dapat diringkas sebagai berikut:

Penumpang datang → memeriksa ketersediaan gate → jika gate sibuk maka menunggu → jika gate tersedia maka dilayani → keluar dari sistem.

2.7. Persamaan Matematis Model Antrian

Model antrian pada penelitian ini merujuk pada teori dasar sistem pelayanan, yaitu hubungan antara laju kedatangan (λ), laju pelayanan (μ), waktu tunggu dalam sistem (W), dan waktu tunggu dalam antrean (Wq). Persamaan waktu tunggu total pada sistem diberikan pada penjelasan berikut.

Persamaan Waktu Tunggu Sistem Antrian

$$W = Wq + \frac{1}{\mu} \quad (1)$$

Laju kedatangan penumpang dalam simulasi dihitung berdasarkan jumlah penumpang dan rentang waktu kedatangan. Persamaan laju kedatangan ditunjukkan pada penjelasan berikut.

Persamaan Laju Kedatangan Penumpang

$$\lambda = \frac{N}{t} \quad (2)$$

Laju pelayanan (μ) ditentukan berdasarkan waktu layanan rata-rata dari setiap jenis pengguna (kartu atau barcode). Persamaannya ditunjukkan pada penjelasan berikut.

Persamaan Laju Layanan

$$\mu = \frac{1}{s} \quad (3)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini menyajikan performa sistem tap out berdasarkan lima skenario jumlah gate (3–7 gate). Seluruh hasil diperoleh dari kode SimPy dan mencerminkan kondisi jam sibuk dengan dua gelombang kedatangan (batch arrival) pada menit ke-10 dan ke-20.

3.1. Hasil Simulasi Waktu Tunggu Penumpang

Tabel 4. Hasil Simulasi Waktu Tunggu Berdasarkan Jumlah Gate

Jumlah Gate	Total Penumpang Dilayani	Rata-rata Waktu Tunggu (detik)	Rata-rata Total Waktu (detik)
3	170	97.37	104.71
4	170	71.76	79.10
5	170	56.42	63.77
6	170	46.17	53.52
7	170	38.93	46.28

Interpretasi dasar: Semakin banyak gate, semakin pendek waktu tunggu. Pola ini linear dan konsisten dengan model antrian multi-server.

3.2. Analisis per Skenario Gate

1. Gate 3 (97.37 detik)
 - a. Batch pertama (100 orang) langsung memicu kemacetan.
 - b. Barcode (14 detik) membuat gate semakin lama sibuk.
 - c. Total waktu 104.71 detik menunjukkan sistem overload.
Kesimpulan : 3 gate tidak memadai untuk kondisi jam sibuk 170 penumpang/30 menit.
2. Gate 4 (71.76 detik)
 - a. Waktu tunggu turun 25 detik dari skenario gate 3.
 - b. Masih terjadi penumpukan saat batch kedua (70 orang).
 - c. Sistem mulai stabil tetapi masih lambat.
Kesimpulan : 4 gate lebih baik, namun belum cukup untuk mengurai antrean cepat.
3. Gate 5 (56.42 detik)
 - a. Penurunan waktu tunggu cukup besar.
 - b. Kapasitas mulai menyeimbangkan laju kedatangan.
 - c. Gate tidak lagi selalu penuh.
Kesimpulan : 5 gate adalah titik mulai stabil (acceptable service level).
4. Gate 6 (46.17 detik)
 - a. Waktu tunggu turun hingga <50 detik.
 - b. Batch pertama dapat terurai sebelum batch kedua tiba.
 - c. Barcode tidak lagi menjadi hambatan signifikan.
Kesimpulan : 6 gate mendekati kapasitas optimal.
5. Gate 7 (38.93 detik)
 - a. Waktu tunggu terendah.
 - b. Sistem nyaris tidak mengalami bottleneck.

- c. Total waktu penumpang dalam sistem hanya 46.28 detik.

Kesimpulan : 7 gate menghasilkan performa paling efisien untuk skenario ini.

3.3. Pengaruh Perbedaan Kartu dan Barcode

Simulasi menunjukkan bahwa service time barcode yang jauh lebih lama ($14 \text{ detik} \pm 3$) menjadi sumber utama perlambatan. Dampaknya :

Tabel 5. Dampak Perbedaan

Jenis	Dampak pada Sistem
Kartu (5 detik)	Cepat, mempercepat throughput
Barcode (14 detik)	Memperlambat pelayanan, memicu penumpukan saat gate terbatas

Proporsi 30% barcode cukup untuk menimbulkan kemacetan, terutama pada gate 3–4.

3.4. Konsistensi Hasil dengan Flowchart Model

Semua hasil yang didapat sesuai dengan proses yang terdapat dalam flowchart:

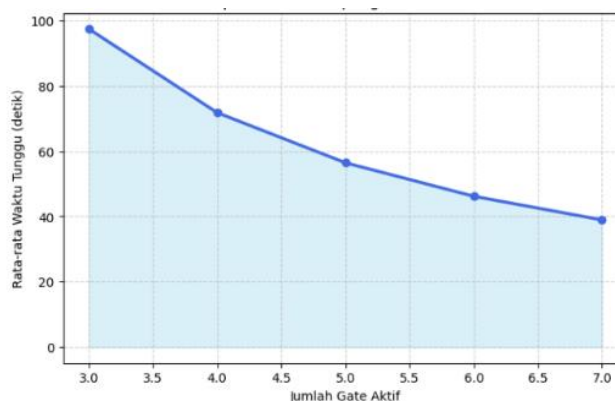
1. Batch arrival → antrean langsung panjang
2. Gate penuh → penumpang menunggu
3. Service time barcode → memperlambat throughput
4. Penambahan gate → antrian cepat terurai

Flowchart dan hasil memiliki keterhubungan logis 1:1.

3.5. Pembahasan Utama

Dari ke-5 skenario dapat disimpulkan:

1. Semakin banyak gate aktif, semakin rendah waktu tunggu.
2. Perbedaan waktu layanan kartu–barcode sangat memengaruhi performa.
3. Batch arrival adalah pemicu utama lonjakan antrean.
4. Jumlah gate kecil (3–4) tidak memadai pada jam sibuk.
5. Konfigurasi 6–7 gate memberikan performa paling optimal.
6. Sistem sensitif terhadap komposisi penumpang barcode.



Gambar 2. Grafik Diagram

KESIMPULAN

Penelitian ini menganalisis performa proses tap out penumpang di stasiun KRL menggunakan pendekatan discrete-event simulation berbasis Python dan SimPy dengan variasi jumlah gate sebanyak 3 hingga 7 unit. Berdasarkan hasil simulasi terhadap 170 penumpang yang datang dalam dua gelombang besar, diperoleh bahwa jumlah gate memiliki pengaruh signifikan terhadap waktu tunggu dan total waktu penumpang berada di dalam sistem. Perbedaan waktu layanan antara pengguna kartu dan barcode turut menjadi faktor utama pembentukan antrean, terutama ketika kapasitas gate terbatas.

Skenario dengan jumlah gate yang sedikit (3–4 gate) menunjukkan waktu tunggu tinggi, masing-masing mencapai rata-rata 97,37 detik dan 71,76 detik. Kondisi ini terjadi karena kapasitas pelayanan tidak mampu mengimbangi lonjakan kedatangan penumpang pada jam sibuk. Kinerja sistem mulai stabil pada konfigurasi 5 gate dengan waktu tunggu 56,42 detik, dan mencapai performa optimal pada skenario 7 gate dengan waktu tunggu terendah yaitu 38,93 detik. Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan bahwa konfigurasi 6–7 gate merupakan kapasitas paling ideal untuk menjamin kelancaran arus keluar penumpang pada periode kepadatan tinggi.

Saran

Penelitian ini memberikan beberapa rekomendasi terkait peningkatan kapasitas dan kualitas layanan pada proses tap out stasiun KRL. Pertama, penambahan jumlah gate terutama pada jam sibuk sangat disarankan untuk menekan waktu tunggu penumpang dan mencegah terbentuknya penumpukan yang berlebihan. Berdasarkan hasil simulasi, jumlah gate minimal yang direkomendasikan adalah 6 unit, sementara 7 gate memberikan performa paling optimal. Kedua, perbedaan waktu pelayanan antara kartu dan barcode perlu menjadi perhatian dalam pengelolaan operasional. Pengguna barcode yang membutuhkan waktu layanan lebih lama menyebabkan sistem lebih mudah mengalami kemacetan. Oleh karena itu, dapat dipertimbangkan program peningkatan adopsi kartu elektronik atau penyediaan jalur khusus untuk barcode pada periode tertentu agar antrean lebih mudah dikendalikan. Ketiga, penelitian selanjutnya dapat mengembangkan model dengan mempertimbangkan variasi pola kedatangan yang lebih kompleks, distribusi penumpang pada beberapa titik masuk, serta integrasi dinamika pergerakan pejalan kaki di area sekitar gate. Pendekatan ini dapat memberikan gambaran yang lebih menyeluruh terhadap kinerja sistem dan menghasilkan rekomendasi yang lebih komprehensif bagi pengelola stasiun.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]Agtalia D, Rachman A, Sutanto H. Analisis simulasi antrian pada layanan stasiun kereta menggunakan pendekatan discrete-event simulation. *J Transportasi Indonesia*. 2021;23(2):115–124.
- [2]Verawati S, Andika R, Prasetyo H. Evaluasi kinerja antrean penumpang KRL di Stasiun Manggarai menggunakan model multi-server. *J Rekayasa Infrastruktur*. 2020;5(1):44–52.
- [3]Wang L. Passenger flow simulation for metro station egress under peak-hour demand using discrete-event and pedestrian modeling. *Transportation Research Procedia*. 2023;67:209–218.
- [4]Kim J, Lee S. Exit gate configuration and crowd-flow performance in metropolitan railway stations. *J Public Transport Systems*. 2022;18(3):56–69.
- [5]Nurhadi T, Kusumawati A. Penerapan simulasi peristiwa-diskrit untuk optimasi kapasitas gate pada fasilitas publik. *J Sistem dan Informatika*. 2021;10(4):233–242.

- [6] Chen Y, Zhao Q. Multi-gate service optimization in commuter rail stations using queueing models. *Applied Transportation Science*. 2024;12(1):14–25.
- [7] Lestari P, Widodo B. Model M/M/s untuk evaluasi performa antrean pada sistem transportasi perkotaan. *J Sains dan Rekayasa*. 2021;15(3):301–310.
- [8] Sharma D, Patel R. Evaluating service delay in smart-card and barcode-based transit fare systems. *International Journal of Transport Technology*. 2022;9(2):143–152.
- [9] Tanaka H, Mori K. Queue performance comparison between contactless card users and QR-ticket users in commuter stations. *Railway Operations Journal*. 2023;19(1):22–34.
- [10] Rahman A, Hartono D. Simulation-based evaluation of bottlenecks in commuter train stations. *Simulation Modelling Practice and Theory*. 2022;120:102608.
- [11] Putri D, Kurniawan R. Pemodelan dan simulasi antrean pada fasilitas layanan publik menggunakan SimPy. *J Sistem Komputer Terapan*. 2025;13(1):45–57.
- [12] Wijaya S, Melani A. Evaluasi performa sistem tap-in/tap-out berbasis kartu elektronik. *Jurnal Rekayasa Transportasi*. 2024;6(2):54–63.