

PENGEMBANGAN SISTEM SIMULASI ANTRIAN PENGOLAHAN SAMPAH BERBASIS WEB DI TPA MENGGUNAKAN METODE MONTE CARLO

Zidan Indra Nugraha¹, Raysa Maharani², Putri Harliana³

^{1,2} Mahasiswa Prodi Ilmu Komputer, Matematika, FMIPA – UNIMED

³ Dosen Prodi Ilmu Komputer, Matematika, FMIPA – UNIMED

¹ zidan.84748@gmail.com, ² raysa28maharani@gmail.com, ³ harliana@unimed.ac.id

Abstrak

Pengelolaan sampah menjadi tantangan yang semakin kompleks seiring dengan meningkatnya jumlah penduduk dan aktivitas masyarakat. Salah satu masalah utama yang dihadapi adalah antrean truk sampah yang panjang di Tempat Pemrosesan Akhir (TPA), yang dapat menghambat efisiensi operasional. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem simulasi antrean berbasis website di TPA Terjun menggunakan metode Monte Carlo, guna mengoptimalkan pengolahan sampah dan mengurangi waktu antre. Dengan menggunakan data historis kedatangan truk sampah, simulasi ini memetakan distribusi probabilitas kedatangan truk dan waktu antrean. Hasil simulasi menunjukkan bahwa hari dengan frekuensi kedatangan truk tertinggi adalah Jumat, diikuti oleh Kamis dan Minggu, dengan jumlah rata-rata truk per hari sekitar 227 truk. Prediksi jumlah truk per minggu adalah 1.592 truk, dengan waktu antre sekitar 2 menit 24 detik per truk. Sistem ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi operasional dan mengurangi kemacetan antrean di TPA Terjun.

Kata kunci : monte carlo, pengelolaan sampah, distribusi probabilitas, antrean truk sampah, sistem informasi berbasis web

1. Pendahuluan

Permasalahan pengelolaan sampah semakin kompleks seiring dengan meningkatnya jumlah penduduk dan aktivitas masyarakat. Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) sebagai tahap akhir dalam pengolahan sampah sering menghadapi tantangan seperti antrean truk pengangkut sampah yang panjang, keterbatasan operator dalam mengatur antrean sampah serta kurang optimalnya sistem distribusi beban kerja. Permasalahan ini juga di alami di TPA Terjun yang terletak di Kecamatan Medan Marelan. Dari Data Dinas LH Medan mencatat diperkirakan paling tinggi ada 1.954 truk sampah yang masuk ke TPA Terjun selama satu pekan (31 Maret-7 April 2025), maka diperhitungkan dalam sepekan ada 7.325 ton sampah, sekitar 279 trip truk sampah yang mengantre untuk membongkar sampah. Permasalahan ini dapat menghambat efisiensi operasional dan memperlama waktu muat dan waktu bongkar sampah. Permasalahan antrean truk sampah di TPA seperti di TPA Terjun juga mirip dengan simulasi pengumpulan sampah menggunakan Monte Carlo untuk mengoptimalkan operasi armada truk dan waktu tunggu di *landfill*, serta model optimasi kualitas pengumpulan sampah solid dengan simulasi Monte Carlo (Belete, 2002; Morán-Zabala et al., 2024).

Salah satu solusi yang dapat digunakan untuk menganalisis dan mengoptimalkan proses ini adalah melalui pemodelan dan simulasi sistem antrean. Simulasi ini mungkin dapat menangani titik-titik *bottleneck* dan memprediksi antrean tanpa mengganggu operasional lapangan secara langsung. Sistem simulasi ini dapat diterapkan dengan metode Monte Carlo. Metode ini dikenal sebagai metode numerik yang tergolong ke dalam teknik statistik, dan umumnya dimanfaatkan untuk menyelesaikan permasalahan yang berkaitan dengan unsur ketidakpastian (Liza Efriyanti, 2024). Metode Monte Carlo termasuk salah satu metode simulasi yang banyak digunakan dalam berbagai bidang, termasuk manajemen sistem, logistik, dan pelayanan publik. Dalam konteks pengolahan sampah di TPA Terjun, metode ini mampu menyimulasikan distribusi kedatangan truk ke depannya dan waktu antrean (waktu muat dan waktu bongkar) truk secara acak berdasarkan data historis.

Beberapa penelitian sebelumnya telah membahas topik serupa. Misalnya, penelitian mengembangkan simulasi sistem antrean pada Poliklinik RSUD DR. RM. Djoelham menggunakan monte carlo berbasis *website* namun belum diterapkan secara meluas (D. D. Putri et al., 2024). Sementara itu, penelitian lainnya melakukan simulasi antrean pada sistem antrean proses pengangkutan sampah akan tetapi menggunakan pendekatan *Single Server*, namun tidak secara spesifik diterapkan pada konteks pengolahan sampah di TPA (Sugianto, 2017). Di sisi

lain, ada penelitian yang mengembangkan sebuah sistem simulasi dengan berbasis *website* dalam kasus antrean servis sepeda motor menggunakan metode Monte Carlo dengan menunjukkan manfaat besar dari platform yang mereka kembangkan dalam hal aksesibilitas dan kemudahan *monitoring* data secara *real-time* (Matondang et al., 2020). Hal ini tentu membuka peluang bagi pengembangan sistem serupa di berbagai sektor antrean.

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem simulasi antrean pengolahan sampah berbasis *website* di TPA Terjun dengan menggunakan metode Monte Carlo. Keunggulan dari Monte Carlo ialah unggul dalam hal fleksibilitas distribusi probabilitas. Berbeda dengan model antrean klasik yaitu M/M/1 yang hanya mengasumsikan distribusi eksponensial untuk waktu kedatangan dan antrean. Penelitian Ningsih et al., (2023) di mana menjelaskan bahwa simulasi menggunakan metode Monte Carlo memberikan hasil yang lebih baik di dibandingkan metode manual dalam memprediksi masalah antrean di DISDUKCAPIL Kota Salatiga. Maka, dari itu sistem ini diharapkan mampu dapat menaikkan kinerja pengolahan sampah di TPA Terjun.

2. Dasar Teori

2.1. Pemodelan dan Simulasi

Pemodelan dan simulasi merupakan pendekatan yang paling penting dalam menganalisis sistem kompleks yang sulit diamati secara langsung dan sulit di prediksi. Pemodelan berfungsi untuk menggambarkan sistem nyata melalui representasi matematis, sedangkan simulasi dimanfaatkan untuk menjalankan model tersebut guna memahami perilaku sistem dalam berbagai situasi atau skenario (Azizi et al., n.d.). Menurut (Moza & Yunus, 2020) pemodelan dan simulasi memungkinkan untuk menguji berbagai skenario tanpa perlu menjalankan eksperimen nyata, yang sering kali memakan biaya dan waktu besar.

2.2. Multi-Queue Multi-Server

Antrean Multi-Queue Multi-Server merupakan suatu jenis sistem antrean di mana terdapat lebih dari satu jalur antrean (*queue*) serta lebih dari satu pelayan atau server yang tersedia untuk melayani pelanggan. Dalam model ini, setiap server bisa saja memiliki antreannya sendiri, atau pelanggan dapat memilih antrean tertentu sesuai dengan kebutuhannya.

2.3. Sistem Antrean

Teori antrean dengan Monte Carlo telah diterapkan untuk memprediksi kondisi *queue* pada pasien dan efisiensi *queue* truk, relevan untuk model *multi-queue multi-server* di pengolahan sampah TPA (Afifah et al., 2025; Aris Pasigai et al., 2019; D. S. Putri & Kurniawan, 2023). Selain itu, pengertian sistem antrean ialah kedatangan pelanggan untuk mendapatkan pelayanan. Fenomena antrean atau waktu tunggu muncul sebagai konsekuensi dari sifat acak dalam proses pelayanan. Secara umum dapat dilihat, bahwa waktu kedatangan pelanggan dan durasi pelanggan tidak dapat diprediksi sebelumnya (Bahar et al., 2018). Apabila kedua perihal ini dapat diketahui tanpa melalui prediksi maka jadwal operasional antrean akan berjalan lancar.

2.4. Monte Carlo

Metode Monte Carlo efektif untuk sistem antrian stokastik seperti *multi-server queue* dan *multi-channel single phase* untuk analisis waktu tunggu realistis, yang mendukung aplikasi pada antrian truk sampah di TPA (Gregosiewicz et al., 2025; Hasugian et al., 2022; Trisna et al., 2025). Teknik ini sangat efektif dalam merepresentasikan kondisi yang mengandung ketidakpastian tinggi, karena mampu menangani berbagai jenis distribusi probabilitas yang kompleks dan tidak selalu mengikuti pola distribusi standar (Apri, 2019).

3. Metodologi

Tahapan penelitian adalah langkah-langkah sistematis yang dilakukan peneliti untuk menyelesaikan suatu studi atau kajian ilmiah (Muhajirin et al., 2024).

3.1. Studi Literatur

Pada tahap awal penelitian ini, dilakukan studi literatur untuk memahami dasar teori yang sesuai dengan topik penelitian. Kajian dilakukan terhadap teori sistem antrean, khususnya jenis-jenis antrean seperti *multi-queue* dan *multi-phase* yang umum digunakan dalam proses layanan bertahap seperti pengolahan sampah. Serta melakukan analisis terhadap proses pengolahan sampah di Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Terjun, serta referensi mengenai pengembangan aplikasi berbasis web yang mendukung visualisasi dan pengolahan data simulasi.

3.2. Identifikasi Masalah

Langkah berikutnya adalah melakukan identifikasi terhadap permasalahan yang terjadi di lapangan dan kebutuhan sistem yang akan dibangun. Pengamatan dan wawancara dilakukan secara langsung di lokasi TPA Terjun untuk memahami bagaimana alur proses antrean truk sampah, baik organik maupun non-organik ketika

memasuki area pengolahan.

3.3. Pengumpulan Data

Tahap pengumpulan data dilakukan secara kuantitatif untuk memperoleh nilai-nilai *actual* (Ardiansyah et al., 2023). Data yang dikumpulkan mencakup data historis kedatangan truk sampah per hari dan durasi waktu antre per-truknya dimulai dari antrean pelayanan truk organik maupun anorganik. Data ini diperoleh dari pencatatan manual di lapangan maupun laporan operasional TPA. Hasil pengumpulan data ini menjadi komponen penting dalam membentuk distribusi probabilitas yang digunakan dalam simulasi Monte Carlo.

3.4. Activity Diagram

Activity diagram adalah diagram yang digunakan dalam UML (*Unified Modelling Language*) untuk memodelkan alur aktivitas atau urutan proses dalam suatu sistem.



Gambar 3.1. Activity Diagram

Gambar 3.1 ini menggambarkan bagaimana proses dimulai, langkah-langkah apa saja yang terjadi, bagaimana keputusan dibuat, dan bagaimana proses itu berakhir

3.5. Pemodelan Sistem Antrean

Berdasarkan data dan proses aktual di lapangan, sistem antrean kemudian dimodelkan untuk merepresentasikan alur pengolahan sampah yang terjadi. Model antrean yang digunakan adalah jenis *multi-queue* dan *multi-phase*, disesuaikan dengan tahapan layanan untuk sampah organik dan non-organik yang sudah di implementasikan dalam Monte Carlo.

3.6. Pengembangan Sistem

Pengembangan sistem dilakukan menggunakan pendekatan *Software Development Life Cycle* (SDLC), yang mencakup analisis, perancangan, implementasi, dan pengujian sistem. Tahapan ini dimulai dengan perancangan antarmuka pengguna (UI/UX) agar sistem dapat digunakan dengan mudah oleh operator. Selanjutnya dilakukan pemrograman *backend* dan *frontend* menggunakan bahasa pemrograman yang sesuai, seperti PHP, CSS, dan JavaScript.

3.7. Pengujian

Setelah melakukan pengembangan sistem, dilakukan pengujian sistem secara menyeluruh agar dapat mengetahui fungsionalitas *website* tersebut dapat berjalan dengan baik atau tidaknya. Untuk menjamin bahwa sistem simulasi antrian berbasis web ini dapat digunakan secara efektif oleh petugas di lapangan, diperlukan

evaluasi aspek pengalaman pengguna. Sebagaimana dijelaskan oleh Satrio et al., (2025), penggunaan pengujian pengguna memberikan parameter yang objektif dalam mengukur tingkat kebergunaan suatu platform digital melalui sepuluh instrumen penilaian yang komprehensif.

4. Hasil dan Analisis

Dalam penelitian ini, sistem yang dibangun merupakan simulasi antrean truk sampah di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Terjun yang dirancang berbasis web dengan menggunakan metode Monte Carlo sebagai pendekatan perhitungannya. Selama tahapan perancangan, penting untuk memperkirakan berbagai kendala yang mungkin muncul, agar proses pengembangan sistem dapat berlangsung secara efisien. Hal ini bertujuan untuk meminimalkan kesalahan dalam implementasi, sehingga sistem yang dihasilkan dapat berjalan optimal, memiliki fungsi yang sesuai kebutuhan. Sebelum pengembangan dilakukan, dilakukan terlebih dahulu analisis terhadap permasalahan utama dalam pengelolaan antrean di TPA. Dari hasil analisis tersebut, dapat diketahui alasan mengapa sistem simulasi ini perlu dibangun, serta faktor-faktor apa saja yang harus diperhatikan dalam proses perancangannya.

4.1. Analisis Monte Carlo

Pemberian nomor persamaan menggunakan angka Arab, dituliskan dalam tanda kurung pada posisi rata kanan kolom. Persamaan ditulis menjorok ke dalam sejauh ± 10 mm. Persamaan-persamaan yang membutuhkan tempat lebih dari satu kolom, penulisannya dimungkinkan melintasi 2 kolom.

Tabel 4.1. Data Kedatangan Truk Selama 7 Hari

Hari	Frekuensi
Senin	200
Selasa	220
Rabu	205
Kamis	230
Jumat	285
Sabtu	201
Minggu	251
Total Keseluruhan	1592

Dari Tabel 4.1 di atas, dapat dilihat perhitungan kedatangan truk selama 7 hari, kedatangan truk paling banyak jatuh di hari Jumat dengan total 285 dan paling sedikit di hari Senin dengan total 200. Lalu, bisa dilihat total keseluruhan truk sampah dalam seminggu sebanyak 1592 truk. Selanjutnya, untuk menghitung Probabilitas digunakan rumus:

$$PDF = \frac{\text{Frekuensi}}{\text{Total Frekuensi}} \tag{1}$$

Maka hasil yang didapatkan adalah, pada tabel 4.2:

Tabel 4.2. Data Probabilitas Kedatangan Truk

Hari	Frekuensi	Probabilitas
Senin	200	0.126
Selasa	220	0.138
Rabu	205	0.129
Kamis	230	0.145
Jumat	285	0.179
Sabtu	201	0.126
Minggu	251	0.158

Setelah diperoleh nilai probabilitas kedatangan truk pada masing-masing hari, langkah selanjutnya adalah menyusun distribusi kumulatif dari nilai-nilai tersebut. Distribusi kumulatif ini digunakan sebagai dasar dalam proses simulasi Monte Carlo untuk memetakan angka acak ke dalam hari-hari tertentu berdasarkan peluangnya.

Tabel 4.3. Interval Distribusi Kumulatif

Hari	Probabilitas	Interval Probabilitas
Senin	0.126	0.000 - 0.126
Selasa	0.138	0.127 - 0.265
Rabu	0.129	0.266 - 0.394
Kamis	0.145	0.395 - 0.538

Jumat	0.179	0.539 – 0.717
Sabtu	0.126	0.718 – 0.843
Minggu	0.158	0.844 – 1.000

Dapat dilihat pada Tabel 4.3, untuk mendapatkan Interval Probabilitasnya maka harus menjumlahkan semua probabilitas dari atas ke bawah secara berurutan. Selanjutnya, tahap simulasi Monte Carlo. Sebelum melakukan simulasi, tentukan nilai acak dan dipetakan ke dalam interval kumulatif.

Misal angka acak : 0.102, 0.271, 0.399, 0.715, 0.500, 0.900, 0.230, 0.601, 0.137, 0.843

Tabel 4.4. Hasil Simulasi Monte Carlo

Hari Simulasi	Angka Acak
Senin	0.102
Rabu	0.271
Kamis	0.399
Jumat	0.715
Kamis	0.500
Minggu	0.900
Selasa	0.230
Jumat	0.601
Selasa	0.137
Minggu	0.843

Berdasarkan hasil simulasi Monte Carlo yang telah dilakukan pada tabel 4.4, dapat diperkirakan bahwa hari dengan frekuensi kedatangan truk sampah paling tinggi adalah hari Jumat, diikuti oleh Kamis dan Minggu. Prediksi frekuensi kedatangan tertinggi pada hari tertentu sesuai dengan simulasi Monte Carlo pada sistem antrian *coffee shop* berbasis data historis 2022-2026 dan *truck-excavator loading* mirip proses TPA (Setiawan et al., 2025; Zharif et al., 2026). Hal ini terlihat dari distribusi angka acak yang paling banyak jatuh pada interval kumulatif milik hari Jumat, yang memiliki nilai probabilitas tertinggi, yaitu 0,179. Probabilitas yang besar ini mencerminkan peluang lebih besar bagi truk untuk datang pada hari tersebut dalam simulasi, sehingga Jumat diprediksi sebagai hari paling sibuk di Tempat Pembuangan Akhir (TPA). Selain itu kita dapat menghitung rata-rata truk per hari menggunakan rumus

$$\text{Rata-rata} = \frac{\text{total truk}}{\text{jumlah hari}} = \frac{1592}{7} = 227 \text{ truk} \quad (2)$$

Selanjutnya, dilakukan simulasi Monte Carlo untuk memprediksi jumlah kedatangan truk di masa depan, yang menghasilkan perkiraan sekitar 1.592 truk per minggu, dengan waktu antre sekitar 2 menit 24 detik per truk.

4.2. Implementasi Website

Di bawah ini merupakan implementasi dari *website* Simulasi Antrean Pengolahan Sampah Berbasis Web di TPA Menggunakan Metode Monte Carlo

1. Halaman Beranda

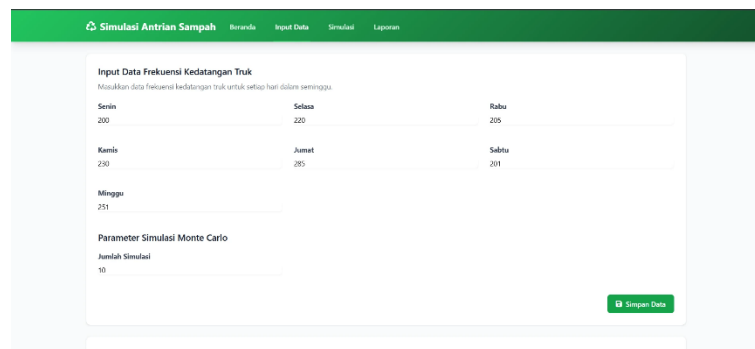
Halaman beranda merupakan halaman awal (*landing page*) yang menjadi pintu masuk utama pengguna ke dalam sistem simulasi. Di halaman ini, ditampilkan penjelasan singkat mengenai tujuan dan kegunaan *website*, yaitu untuk menyimulasikan antrean truk sampah di TPA menggunakan metode Monte Carlo. Informasi ini bertujuan memberikan pemahaman awal kepada pengguna tentang pentingnya simulasi ini dalam konteks pengelolaan sampah. Selain itu, terdapat tombol “Mulai Simulasi” yang berfungsi sebagai navigasi menuju ke tahap *input* data, sehingga pengguna dapat langsung memulai proses simulasi dengan mudah dan cepat.



Gambar 4.1. Halaman Beranda

2. Halaman *Input Data*

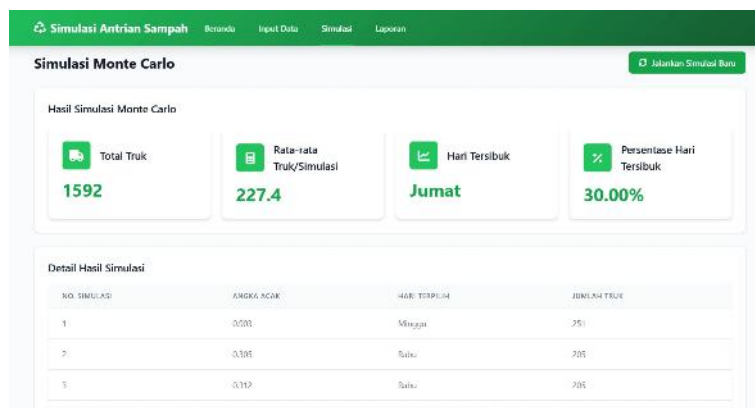
Setelah pengguna menekan tombol “Mulai Simulasi” dari halaman beranda, mereka akan diarahkan ke halaman *input data*. Pada halaman ini, pengguna diminta untuk mengisi data frekuensi kedatangan truk sampah untuk setiap hari dalam satu minggu, mulai dari Senin hingga Minggu. Selain itu, pengguna juga diminta menentukan jumlah iterasi atau banyaknya simulasi yang ingin dijalankan. Terdapat tombol “Simpan Data” yang berfungsi untuk menyimpan data yang telah diinput ke dalam sistem. Setelah data berhasil disimpan, sistem secara otomatis mengarahkan pengguna ke halaman simulasi untuk melihat hasil perhitungan Monte Carlo berdasarkan data yang telah diberikan.



Gambar 4.2. Halaman *Input Data*

3. Halaman Simulasi

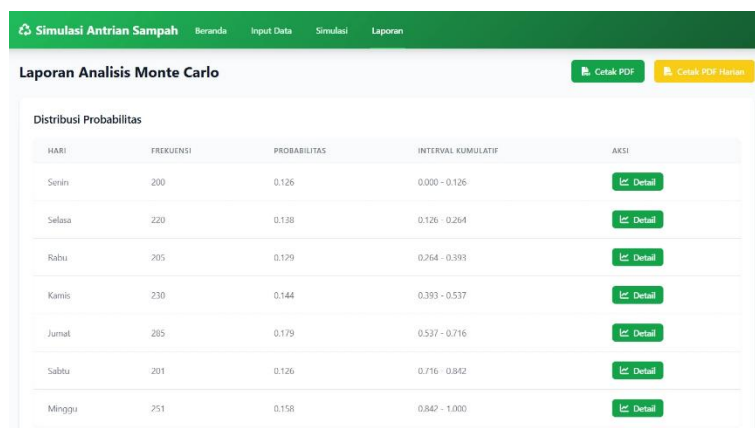
Halaman simulasi menampilkan hasil dari proses simulasi Monte Carlo yang telah dilakukan berdasarkan *input* pengguna. Di bagian atas halaman, ditampilkan ringkasan informasi penting seperti total truk masuk selama seminggu, rata-rata truk per simulasi, prediksi hari tersibuk, serta persentase kemungkinan hari tersibuk terjadi berdasarkan frekuensi hasil simulasi. Selain itu, halaman ini juga menyediakan tabel hasil simulasi secara rinci yang mencakup nomor simulasi, angka acak yang digunakan, hari terpilih berdasarkan interval distribusi kumulatif, dan estimasi jumlah truk untuk masing-masing simulasi. Di samping itu, terdapat pula tabel distribusi probabilitas yang menunjukkan data hari, nilai probabilitas (PDF), serta interval distribusi kumulatif yang digunakan dalam proses pemetaan angka acak ke hari tertentu. Halaman ini berfungsi sebagai inti dari sistem karena menampilkan keseluruhan hasil analisis secara transparan dan informatif.



Gambar 4.3. Halaman Simulasi

4. Halaman Laporan

Halaman laporan menyajikan data distribusi probabilitas yang telah dihitung per hari secara ringkas dalam bentuk tabel. Setiap baris dalam tabel mewakili satu hari dengan informasi probabilitas, distribusi kumulatif, serta kemungkinan frekuensi kedatangan truk. Terdapat tombol “Detail” pada setiap hari yang dapat ditekan untuk melihat rincian lebih lanjut mengenai antrean truk, termasuk urutan kedatangan berdasarkan hasil simulasi secara spesifik. Halaman ini juga dilengkapi dengan fitur “Export ke PDF” yang memungkinkan pengguna untuk menyimpan atau mencetak laporan simulasi dalam bentuk dokumen digital. Fitur ini sangat berguna untuk keperluan dokumentasi atau pelaporan kepada pihak terkait.



Gambar 4.4. Halaman Laporan

5. Kesimpulan dan Saran

Penelitian ini berhasil mengembangkan sistem simulasi antrean berbasis *website* di TPA Terjun dengan menggunakan metode Monte Carlo. Hasil simulasi menunjukkan bahwa hari Jumat adalah hari dengan frekuensi kedatangan truk terbanyak, diikuti oleh Kamis dan Minggu. Rata-rata kedatangan truk per hari adalah 227 truk, dan diperkirakan ada 1.592 truk yang datang setiap minggu dengan waktu antre sekitar 2 menit 24 detik per truk. Sistem simulasi ini dapat membantu meningkatkan efisiensi pengolahan sampah di TPA Terjun dengan memberikan gambaran yang lebih jelas tentang pola kedatangan truk dan waktu antre, sehingga operator dapat mengambil langkah-langkah yang lebih tepat dalam mengelola antrean dan distribusi beban kerja.

Daftar Pustaka:

- Afifah, A., Choirudin, C., dan Asfaw, S. K. (2025), Analysis of queue system efficiency at mie gacoan restaurant with monte carlo simulation algorithm as mathematics learning material, *Journal of Teaching and Learning Mathematics*, 3(1), 21-35.
- Apri, M. (2019), Simulasi monte carlo untuk memprediksi jumlah kunjungan pasien, *Jursima*, 7(2), 92-98. <https://doi.org/10.47024/js.v7i2.176>
- Ardiansyah, Risnita, dan Jailani, M. S. (2023), Teknik pengumpulan data dan instrumen penelitian ilmiah

- pendidikan pada pendekatan kualitatif dan kuantitatif, *IHSAN: Jurnal Pendidikan Islam*, 1(2), 1-9. <https://doi.org/10.61104/ihsan.v1i2.57>
- Aris Pasigai, M., dan Nur Abdi, M. (2019), Analisis penerapan sistem antrian pada PT. Bank Rakyat Indonesia (Persero) Tbk. kantor cabang pembantu unit pallangga kabupaten gowa, *Jurnal Profitability Fakultas Ekonomi Dan Bisnis*, 3(2), 31-47. <https://doi.org/10.32400/jiam.2.02.2018.21844>
- Azizi, M. S., Aditiatama, Y., Mubarak, M. K., dan Rolliawati, D. (2020), Pemodelan dan simulasi distribusi kaos custom dengan anylogic (studi kasus konveksi kaos surabaya), *Jurnal Sistem Informasi*, 3(1), 32-36. <https://doi.org/10.24853/justit.11.1.32-36>
- Bahar, M. S., Mananohas, M. L., dan Montolalu, C. E. J. C. (2018), Model sistem antrian dengan menggunakan pola kedatangan dan pola pelayanan pemohon SIM di satuan penyelenggaraan administrasi SIM resort kepolisian manado, *Jurnal Matematika dan Aplikasi*, 7(1), 15-21. <https://doi.org/10.35799/dc.7.1.2018.19549>
- Belete, Z. (2002), Analysis & development of solid waste management system of addis ababa, Thesis, Addis Ababa University, 1-116.
- Gregosiewicz, A., Ratajczyk, E., dan Stępień, Ł. (2025), Modeling and simulation of heterogeneous multiserver queues with impatient customers, *Advances in Science and Technology Research Journal*, 19(12), 464-477. <https://doi.org/10.12913/22998624/210352>
- Hasugian, I. A., Muhyi, K., dan Firlidany, N. (2022), Simulasi monte carlo untuk memprediksi ketepatan waktu pengiriman dan total pendapatan, *Jurnal Logistik*, 17(2), 133-138.
- Liza Efriyanti. (2024), Analisis efektivitas sistem antrian pada parkir kendaraan roda dua di plaza ramayana bukitinggi, *Jurnal Perkotaan*, 15(1), 38-50. <https://doi.org/10.25170/perkotaan.v15i1.4887>
- Matondang, E., Gultom, Y., Sembiring, D. M. S., Aminatunnisa, S., dan Indra, E. (2020), Penerapan metode monte carlo untuk simulasi sistem antrian service sepeda motor berbasis web, *Jurnal Sistem Informasi dan Ilmu Komputer Prima (JUSIKOM PRIMA)*, 2(2), 77-84. <https://doi.org/10.34012/jusikom.v2i2.442>
- Morán-Zabala, J. P., Alzate-Grisales, J. A., Bravo-Ortiz, M. A., Valencia-Diaz, M. A., Gómez-Marín, C. G., Restrepo-Franco, A. M., dan Cogollo-Flórez, J. M. (2024), A simulation-based optimization model for quality control in solid waste collection process, *Production*, 34, 1-15. <https://doi.org/10.1590/0103-6513.20240021>
- Moza, W. S., dan Yunus, Y. (2020), Pemodelan dan simulasi monte carlo dalam meningkatkan pendapatan penjualan peralatan motor (studi kasus: bengkel AMI motor), *Jurnal Informatika Ekonomi Bisnis*, 2(4), 4-9. <https://doi.org/10.37034/infec.v2i4.55>
- Muhajirin, Risnita, dan Asrulla. (2024), Pendekatan penelitian kuantitatif dan kualitatif serta tahapan penelitian, *Journal Genta Mulia*, 15(1), 82-92.
- Ningsih, D. R., Sugito, S., dan Rusgiyono, A. (2023), Analisis metode antrean dan simulasi monte carlo pada antrean dinas kependudukan dan pencatatan sipil (disdukcapil) kota salatiga dilengkapi GUI-R, *Jurnal Gaussian*, 11(3), 418-428. <https://doi.org/10.14710/j.gauss.11.3.418-428>
- Putri, D. D., Pardede, A. M., dan Sihombing, A. (2024), Penerapan metode monte carlo pada simulasi antrian poliklinik RSUD DR. RM. djoelham, Saturnus: *Jurnal Teknologi dan Sistem Informasi*, 2(4), 317-329. <https://doi.org/10.61132/saturnus.v2i4.368>
- Putri, D. S., dan Kurniawan, M. H. S. (2023), Implementation of queue theory and monte carlo simulation on the number of covid-19 patients in batam, *EKSAKTA: Journal of Sciences and Data Analysis*, 4(2), 30-39. <https://doi.org/10.20885/eksakta.vol4.iss2.art4>
- Satrio, B., Dewi, V. I., dan Herawati, N. A. (2025), Analisis usability e-modul pencemaran lingkungan menggunakan metode system usability scale (SUS), *Jurnal Pinter*, 9(2), 11-20. <https://doi.org/10.21009/pinter.9.2.2>
- Setiawan, D., Haswika, H., Qurtubi, Q., dan Alfietta, M. Z. Z. (2025), Discrete-event simulation of truck-excavator systems in surface mining using a finite-source closed-loop queuing model, *Jurnal Sistem dan Manajemen Industri*, 9(2), 125-134. <https://doi.org/10.30656/jsmi.v9i2.11003>
- Sugianto, W. (2017), Analisis kinerja sistem antrian dengan pendekatan single server pada proses pengangkutan sampah, *Jurnal Teknik Industri*, 3(1), 26-35.
- Trisna, N., Mahessya, R. A., dan Yenila, F. (2025), Analisa simulasi antrian monte carlo menggunakan metode multi channel single phase, *Jurnal Pustaka Data*, 5(1), 227-232. <https://doi.org/10.55382/jurnalpustakadata.v5i1.1057>
- Zharif, E. A., Lubis, P. B., Najiha, P., Abdillah, A., dan Mutiara, T. D. (2026), Simulasi monte carlo untuk analisis kinerja sistem antrian pada operasional coffee shop skala kecil, *JUTIN: Jurnal Teknik Industri Terintegrasi*, 9(1), 1167-1172. <https://doi.org/10.31004/jutin.v9i1.55849>