

PEMODELAN ANTREAN ATM BNI ITERA MENGGUNAKAN MODEL M/M/1

Disusun untuk memenuhi Tugas Besar Mata Kuliah Pemodelan Stokastik,
diampu oleh: Mika Alvionita S., M.Si. dan M. Syamsuddin Wisnubroto, M.Si.



Disusun Oleh :

Ibrahim Al Kahfi - 122450100
Novelia Adinda - 122450104
Rendra Eka Prayoga - 122450112
Smertniki Javid Ahmedthian - 122450115

INSTITUT TEKNOLOGI SUMATERA

PROGRAM STUDI SAINS DATA

FAKULTAS SAINS

2025

Abstrak

Penelitian ini menganalisis kinerja antrean pada mesin ATM BNI di lingkungan Institut Teknologi Sumatera (ITERA) dengan menerapkan model antrean M/M/1 untuk menilai pola kedatangan pengguna, durasi pelayanan, serta tingkat pemanfaatan kapasitas layanan. Pengumpulan data dilakukan melalui observasi langsung selama lima hari kerja dalam tiga sesi pengamatan setiap harinya, menghasilkan 313 data pelanggan yang mencatat waktu kedatangan, waktu pelayanan, dan waktu tunggu. Parameter utama antrean yaitu laju kedatangan (λ), laju pelayanan (μ), utilisasi sistem (ρ), panjang antrean (L_q), dan waktu tunggu (W_q) dihitung untuk menggambarkan kondisi operasional mesin ATM. Hasil analisis menunjukkan bahwa distribusi waktu pelayanan mengikuti karakteristik distribusi eksponensial, sehingga mendukung penerapan model M/M/1 dalam konteks penelitian ini. Utilisasi sistem pada Senin hingga Kamis berada pada kisaran rendah, yaitu 31,7% - 42,2%, yang menandakan bahwa mesin ATM beroperasi dalam kondisi stabil dan mampu menangani kedatangan pengguna tanpa antrean yang berarti. Namun, pada hari Jumat utilisasi meningkat signifikan hingga mencapai 83,3%, sehingga memicu antrean lebih panjang dengan rata-rata panjang antrean 4,167 orang dan waktu tunggu sekitar 6,5 menit. Kenaikan ini berkaitan dengan tingginya aktivitas kampus pada hari tersebut. Secara keseluruhan, temuan penelitian menunjukkan bahwa model M/M/1 memberikan representasi yang akurat terhadap perilaku antrean ATM BNI ITERA dan dapat digunakan sebagai dasar evaluasi kinerja layanan serta pertimbangan pengelolaan kapasitas di masa mendatang.

Kata Kunci : Sistem antrean, Model antrean M/M/1, ATM, Laju kedatangan, Waktu pelayanan, Kinerja layanan.

DAFTAR ISI

Abstrak.....	i
DAFTAR ISI.....	ii
BAB I.....	1
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Manfaat Penelitian.....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Sistem antrean	3
2.2 Komponen Dasar Sistem Antrean	3
2.3 Notasi Kendall dan Jenis-Jenis Model antrean	4
2.4 Model antrean M/M/1	5
2.5 Aplikasi Pemodelan antrean dalam Dunia Nyata.....	6
BAB III METODE PENELITIAN	7
3.1 Jenis Data	7
3.2 Teknik Pengumpulan Data.....	7
3.3 Variabel yang diamati	7
3.4 Diagram Alir	8
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	9
4.1 Deskripsi Data	9
4.2 Hasil Perhitungan	11
4.3 Interpretasi Hasil	12
4.4 Pembahasan Hasil Model M/M/1.....	12
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	9

5.1 Kesimpulan.....	14
5.2 Saran.....	14
DAFTAR PUSTAKA	14

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam kehidupan sehari-hari, layanan perbankan telah menjadi kebutuhan paling penting bagi masyarakat, termasuk bagi mahasiswa dan civitas akademika di lingkungan kampus. Salah satu fasilitas perbankan yang paling sering digunakan adalah mesin Anjungan Tunai Mandiri (ATM). Di lingkungan kampus Institut Teknologi Sumatera (ITERA), ATM Bank Negara Indonesia (BNI) menjadi fasilitas utama yang melayani puluhan pengguna setiap harinya, mulai dari penarikan tunai, transfer, hingga kebutuhan finansial lainnya. Di waktu seperti jam istirahat atau menjelang kegiatan belajar mengajar, jumlah pengguna ATM sedikit meningkat. Kondisi ini membuat timbulnya suatu antrean yang akan mengganggu kenyamanan pengguna. Meski terlihat sederhana, fenomena antrean dapat dianalisis secara ilmiah menggunakan teori antrean untuk mengetahui apakah kapasitas layanan sudah sesuai dengan pola kedatangan pengguna[1].

Teori antrean telah lama digunakan untuk mempelajari sistem layanan publik dan fasilitas perbankan. Salah satu model antrean yang paling umum digunakan adalah Model antrean M/M/1 yang mempelajari sistem layanan dengan satu server, pola kedatangan pelanggan yang *random*, serta waktu pelayanan yang mengikuti distribusi eksponensial[2]. Model ini banyak digunakan dalam penelitian yang berkaitan dengan antrean ATM[1], pelayanan bank, hingga layanan publik karena sederhana namun mampu menggambarkan dinamika antrean dengan cukup baik. Dengan memanfaatkan data nyata seperti waktu kedatangan, waktu tunggu, dan lama pelayanan, model akan memberikan gambaran mengenai tingkat utilisasi mesin ATM, panjang antrean, hingga estimasi waktu tunggu yang paling ideal.

Selain itu, keberadaan antrean di mesin ATM bukan hanya berkaitan dengan persoalan teknis, tetapi juga menyangkut kenyamanan pengguna dalam kesehariannya. Banyak mahasiswa menggunakan ATM pada waktu-waktu tertentu, seperti sebelum masuk kelas dan bahkan setelah berakhirnya kelas. Pada kondisi tersebut, keterlambatan berdampak pada jadwal mereka, sehingga perlunya memahami pola kedatangan dan waktu pelayanan melalui analisis antrean agar fasilitas di lingkungan kampus mendukung aktivitas akademik.

Melalui pemodelan antrean menggunakan pendekatan M/M/1, penelitian ini diharapkan mampu memberikan gambaran kondisi antrean ATM BNI di lingkungan ITERA secara lebih terukur. Hasil analisis akan menjadi dasar untuk mempertimbangkan kebutuhan penambahan mesin ATM, penjadwalan pemeliharaan, ataupun pengelolaan kapasitas layanan agar lebih baik [3].

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik sistem antrean pada fasilitas ATM BNI di lingkungan ITERA jika ditinjau berdasarkan pola kedatangan dan distribusi waktu pelayanan model M/M/1?
2. Bagaimana kinerja sistem antrean saat ini diukur dari parameter tingkat kesibukan (ρ), rata-rata panjang antrean (L_q), dan estimasi waktu tunggu (W_q)?
3. Berapa waktu proses transaksi serta tingkat pemanfaatan mesin ATM BNI ITERA yang diperoleh melalui model antrean M/M/1?

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mengidentifikasi pola distribusi kedatangan pelanggan (poisson) dan waktu pelayanan (eksponensial) pada fasilitas ATM BNI di ITERA yang akan memastikan kesesuaian dengan penerapan model M/M/1.
2. Menganalisis tingkat efektifitas layanan ATM melalui perhitungan matematis terhadap tingkat utilitas server (ρ), rata-rata jumlah nasabah dalam antrean (L_q), serta estimasi waktu tunggu (L_q) dalam teori antrean.
3. Mengukur waktu proses transaksi serta tingkat pemanfaatan mesin ATM BNI ITERA menggunakan model antrean M/M/1.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Manfaat Akademis
 - a. Memberikan kontribusi nyata dalam penerapan model antrean M/M/1 dalam konteks layanan perbankan yang ada di lingkungan kampus
 - b. Menguji validitas asumsi distribusi poisson dan eksponensial dalam sistem antrean ATM secara riil.
 - c. Mengembangkan kemampuan analitis dalam menerapkan pemodelan statistika untuk menyelesaikan permasalahan.
2. Manfaat Praktis
 - a. Memberikan evaluasi objektif mengenai kinerja layanan ATM BNI ITERA melalui parameter kuantitatif.
 - b. Meningkatkan kualitas layanan perbankan dan kepuasan pengguna di lingkungan kampus.
 - c. Mengidentifikasi waktu-waktu kritis penggunaan ATM untuk optimasi pengelolaan antrean.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem antrean

Teori antrean (queuing theory) adalah studi probabilistik kejadian garis tunggu (*waiting lines*), yaitu suatu garis tunggu dari customer yang membutuhkan layanan dari sistem yang ada [2]. Sistem antrean didefinisikan sebagai himpunan *customer* dan server beserta aturan yang mengatur antara kedatangan customer dan pelayanannya[2]. Sistem antrean juga merupakan mekanisme pelayanan di mana pelanggan tiba ke dalam sistem, menunggu jika kapasitas pelayanan sedang penuh, kemudian dilayani dan meninggalkan sistem setelah proses selesai.

Proses antrean merupakan suatu proses yang terkait dengan kedatangan pelanggan pada fasilitas pelayanan, menunggu dalam baris antrean apabila belum dapat dilayani, dan akhirnya meninggalkan fasilitas tersebut sesudah dilayani [2]. Antrean timbul disebabkan oleh kebutuhan akan layanan melebihi kemampuan atau kapasitas fasilitas pelayanan, sehingga pengguna fasilitas yang tiba tidak dapat segera mendapat layanan karena kesibukan layanan[6]. Teori antrean merupakan cabang ilmu yang meneliti berbagai faktor penyebab serta dampak dari aktivitas mengantre yang bertujuan untuk mengidentifikasi, mengukur, dan memahami konsekuensi yang muncul dalam proses antrean. Dalam situasi antrean, pelaku-pelaku utama adalah pelanggan (*customer*) dan pelayan (server)[6].

2.2 Komponen Dasar Sistem Antrean

Sebuah sistem antrean pada dasarnya dibentuk oleh sebuah elemen fundamental yang bekerja secara terintegrasi agar menggambarkan bagaimana pelanggan tiba, menunggu, dilayani, dan meninggalkan sistem. Sistem antrean memiliki beberapa elemen utama yang menjadi dasar pemodelannya diantaranya:

1. Kedatangan Pelanggan

Kedatangan pelanggan menggambarkan bagaimana individu memasuki sistem antrean. Pada sebagian besar model klasik maupun modern, pola kedatangan ini dimodelkan menggunakan proses Poisson karena sifatnya yang mencerminkan kedatangan acak dan saling independen antar kejadian [7]. Pemodelan ini penting karena laju kedatangan menentukan kecepatan terbentuknya antrean serta memengaruhi fluktuasi beban layanan sepanjang waktu. Dengan memahami proses kedatangan secara probabilistik, perilaku sistem dapat diprediksi dengan lebih akurat terutama pada kondisi beban dinamis.

2. Waktu Pelayanan

Waktu pelayanan merupakan durasi yang dibutuhkan server untuk melayani satu pelanggan. Pada model antrean dasar, waktu pelayanan biasanya diasumsikan mengikuti distribusi eksponensial karena sifat *memoryless*-nya yang sesuai dengan dinamika pelayanan acak[7][8]. Asumsi eksponensial juga memudahkan analisis matematis tanpa menghilangkan karakteristik penting dari proses pelayanan nyata.

Variasi waktu pelayanan inilah yang dapat menyebabkan antrean memanjang pada kondisi beban tinggi meskipun rata-rata waktu pelayanan relatif konstan.

3. Server

Server adalah komponen yang memberikan layanan kepada pelanggan. Jumlah server dapat berupa satu maupun lebih, dan variasi jumlah ini sangat memengaruhi panjang antrean serta tingkat kemacetan sistem. Secara umum, semakin banyak server yang tersedia, semakin rendah kemungkinan terjadinya penumpukan pelanggan, meskipun efektivitasnya tetap bergantung pada pola kedatangan[9]. Dalam banyak kasus operasional, keterbatasan jumlah server sering menjadi faktor utama meningkatnya waktu tunggu.

4. Disiplin Antrean

Disiplin antrean adalah aturan yang mengatur urutan pelanggan dalam menerima pelayanan. Beberapa disiplin yang umum digunakan adalah FIFO (*First In First Out*), LIFO (*Last In First Out*), dan prioritas pelayanan, tergantung karakteristik sistem dan kebutuhan operasional[9]. Pemilihan disiplin antrean yang tepat berpengaruh pada keadilan pelayanan serta kenyamanan pelanggan, dan dalam beberapa sistem, disiplin antrean juga dapat memengaruhi stabilitas serta efisiensi operasi.

5. Kapasitas Sistem

Kapasitas sistem adalah jumlah maksimum pelanggan yang dapat berada dalam antrean atau di dalam sistem pada satu waktu. Kapasitas ini dapat bersifat terbatas maupun tidak terbatas, bergantung pada desain operasional[8]. Sistem dengan kapasitas terbatas berpotensi menolak pelanggan baru ketika kondisi penuh, sehingga berdampak pada tingkat layanan dan kepuasan pengguna. Oleh karena itu, kapasitas sering menjadi parameter yang dipertimbangkan dalam perancangan atau evaluasi ulang suatu sistem layanan, terutama ketika terjadi lonjakan permintaan.

2.3 Notasi Kendall dan Jenis-Jenis Model antrean

Dalam suatu sistem antrean, digunakan sebuah notasi untuk mengetahui ciri dari suatu antrean yang merupakan kombinasi dari proses kedatangan dan pelayanan. Notasi standar yang digunakan untuk mendeskripsikan dan mengklasifikasikan berbagai model antrean dikenal sebagai Notasi Kendall yang menjadi standar dalam teori antrean modern karena memberikan struktur klasifikasi yang ringkas dan konsisten[10]. Notasi ini merupakan standar yang paling umum ($A/B/k$) untuk mengklasifikasikan model antrean berdasarkan distribusi kedatangan (A), distribusi layanan (B), dan jumlah server (k).

Notasi standar ini sering diganti dengan kode-kode spesifik dari distribusi yang terjadi. Kode-kode umum yang digunakan meliputi: M untuk Distribusi Poisson atau Eksponensial (yang digunakan untuk proses kedatangan atau keberangkatan), D untuk Konstanta atau deterministik, Ed untuk Distribusi Erlang atau Gamma, G untuk Distribusi umum (*General Distribution*), atau GI untuk Distribusi umum yang independen dari proses kedatangan. Sementara itu, GD sering digunakan untuk Disiplin Umum (*General Discipline*) dalam antrean. Sebagai contoh, notasi $M/M/k$ berarti sistem antrean tersebut memiliki distribusi Poisson atau Eksponensial untuk kedatangan (M pertama) dan waktu

pelayanan (M kedua), serta memiliki k jumlah server[10]. Selain klasifikasi berdasarkan notasi Kendall, proses antrean pada umumnya dikelompokkan ke dalam empat model struktur dasar menurut sifat-sifat dan pelayanan yang disediakan:

1. *Single Channel - Single Phase*, Model ini hanya memiliki satu jalur yang memasuki sistem pelayanan dan hanya ada satu fasilitas pelayanan.
2. *Single Channel - Multi Phase*, Model ini mempunyai satu barisan pelayanan tetapi dilanjutkan melalui beberapa pelayanan atau tahapan.
3. *Multi Channel - Single Phase*, Model ini mempunyai banyak barisan antrean tetapi hanya ada satu tahap pelayanan.
4. *Multi Channel - Multi Phase*, Model ini menunjukkan bahwa setiap sistem mempunyai beberapa fasilitas pelayanan pada setiap tahap, memungkinkan lebih dari satu pelanggan dapat dilayani pada waktu bersamaan.

Model seperti M/M/1 adalah salah satu model paling sederhana dalam sistem antrean dengan saluran tunggal (*single-channel model*), sehingga sering digunakan dalam analisis berbagai sistem antrean pelayanan.

2.4 Model antrean M/M/1

Model Antrean M/M/1 merupakan salah satu model dasar dalam teori antrean yang digunakan untuk menggambarkan sistem pelayanan dengan satu jalur antrean dan satu server. Notasi M/M/1 sendiri berasal dari Notasi Kendall, di mana huruf pertama (M) menunjukkan bahwa kedatangan pelanggan mengikuti proses Poisson, huruf kedua (M) menunjukkan waktu pelayanan berdistribusi eksponensial, dan angka 1 melambangkan jumlah server yang tersedia dalam sistem. Model ini banyak digunakan dalam analisis fasilitas layanan yang sederhana namun memiliki pola kedatangan acak, seperti mesin ATM, loket tiket, hingga layanan administrasi[11].

Sistem M/M/1 mengasumsikan bahwa pelanggan datang secara acak dengan laju kedatangan rata-rata λ , sementara server melayani pelanggan satu per satu dengan laju pelayanan rata-rata μ . Proporsi beban kerja sistem umumnya dinyatakan melalui tingkat utilisasi $\rho = \lambda / \mu$, yang menjadi indikator apakah sistem berada dalam kondisi stabil. Syarat stabilitas tercapai apabila $\rho < 1$, artinya laju pelayanan masih mampu mengimbangi laju kedatangan pelanggan sehingga antrean tidak terus bertambah tanpa batas. Dalam kondisi *steady-state*, model M/M/1 memungkinkan perhitungan ukuran kinerja sistem secara analitis, antara lain:

1. Rata-rata Jumlah Pelanggan dalam Sistem (L_s)

$$L_s = \frac{\rho}{1 - \rho}$$

Ukuran ini menunjukkan jumlah rata-rata pelanggan yang berada dalam sistem, baik yang sedang menunggu maupun yang sedang dilayani. Nilai L_s memberikan gambaran mengenai tingkat kepadatan sistem secara keseluruhan pada kondisi *steady-state*.

2. Rata-rata Jumlah Pelanggan dalam Antrean (Lq)

$$L_q = \frac{\rho^2}{1 - \rho}$$

Lq merepresentasikan rata-rata banyaknya pelanggan yang menunggu sebelum mendapat pelayanan. Besarnya nilai Lq menjadi indikator seberapa padat antrean terbentuk, terutama ketika tingkat utilisasi mendekati kapasitas maksimum.

3. Rata-rata Waktu Pelanggan dalam Sistem (Ws)

$$W_s = \frac{1}{\mu - \lambda}$$

Ws menunjukkan waktu rata-rata yang dihabiskan pelanggan di dalam sistem, mencakup durasi menunggu ditambah waktu pelayanan. Nilai ini menggambarkan efisiensi operasional sistem secara menyeluruh.

4. Rata-rata Waktu Tunggu dalam Antrean (Wq)

$$W_q = \frac{\rho}{\mu - \lambda}$$

Wq merupakan lamanya waktu yang dihabiskan pelanggan untuk menunggu sebelum mulai dilayani. Peningkatan nilai Wq terjadi secara signifikan ketika utilisasi server tinggi, sehingga waktu tunggu menjadi lebih panjang.

Secara keseluruhan, keempat metrik ini digunakan untuk mengevaluasi performa sistem antrean, mulai dari tingkat kepadatan hingga efisiensi pelayanan. Dalam konteks layanan ATM, ukuran-ukuran tersebut membantu mengidentifikasi kondisi beban tinggi dan menentukan langkah operasional seperti penyesuaian kapasitas atau penambahan fasilitas pelayanan.

2.5 Aplikasi Pemodelan antrean dalam Dunia Nyata

Pemodelan antrean merupakan alat analisis yang penting dalam proses stokastik, dengan menyediakan kerangka probabilistik untuk menilai sistem dengan garis tunggu. Tujuan utamanya adalah membantu *decision making* saat kebutuhan layanan melebihi kapasitas, sehingga meminimalkan biaya operasional. Aplikasi pemodelan antrean banyak ditemukan di berbagai bidang seperti dalam administrasi publik dan pendidikan model M/M/1 digunakan untuk mengoptimalkan kinerja loket pembayaran mahasiswa atau pelayanan pasien rawat jalan, dengan fokus pada pengurangan waktu tunggu dan penentuan jumlah server yang tepat. Dalam sektor teknologi informasi, model M/M/1 relevan untuk analisis simpul jaringan data, sedangkan model M/M/k dipakai dalam desain sistem jaringan komputer yang menjadikan dasar penting peningkatan kinerja. Sementara itu, dalam bisnis dan ritel, pemodelan antrean membantu menentukan jumlah kasir yang optimal berdasarkan tingkat kedatangan dan pelayanan pelanggan.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Data

Pada penelitian ini, data yang adalah data primer yang didapatkan melalui pengamatan terhadap salah satu penyedia mesin Anjungan Tunai Mandiri (ATM), yaitu Bank Nasional Indonesia (BNI) yang berlokasi di kampus Institut Teknologi Sumatera, Desa Way Huwi, Kecamatan Jati Agung, Kabupaten Lampung Selatan. Pengamatan dilakukan dengan melihat waktu kedatangan, waktu tunggu atau mengantre dari pengunjung, lama pelayanan di mesin ATM, dan waktu ketika mereka selesai melakukan transaksi di mesin ATM. Keseluruhan data ini akan menjadi dasar perhitungan parameter model antrean M/M/1 khususnya Tingkat kedatangan (λ), Tingkat pelayanan (μ), Intensitas trafik atau utilisasi (ρ), Rata-rata jumlah pelanggan dalam sistem (L), Rata-rata waktu tunggu dalam sistem (W), Rata-rata jumlah pelanggan dalam antrean (L_q), dan Rata-rata waktu tunggu dalam antrean (W_q) yang akan menjadi input dalam menvalidasi model antrean M/M/1 yang akan dianalisis lebih lanjut.

3.2 Teknik Pengumpulan Data

Dalam penelitian ini, teknik pengumpulan data yang digunakan adalah metode observasi langsung (*direct observation*) pada lokasi penelitian. Penulis melakukan pengamatan secara langsung di lokasi ATM BNI Institut Teknologi Sumatera (ITERA) untuk mencatat aktivitas antrean yang terjadi secara *real-time*. Pengumpulan data dilakukan selama 5 (lima) hari kerja, terhitung mulai tanggal 10 November hingga 15 November 2025. Agar data yang diperoleh representatif dan mencakup berbagai kondisi kepadatan pengunjung, waktu pengamatan dibagi menjadi 3 (tiga) sesi setiap harinya dengan durasi masing-masing 1 jam. Pembagian sesi tersebut adalah sebagai berikut:

1. Sesi 1 (Pagi): Pukul 10.00 – 11.00 WIB. Sesi ini mewakili aktivitas penggunaan ATM sebelum jam istirahat siang.
2. Sesi 2 (Siang): Pukul 12.00 – 13.00 WIB. Sesi ini dipilih untuk menangkap puncak aktivitas antrean saat jam istirahat pegawai dan mahasiswa.
3. Sesi 3 (Sore): Pukul 15.00 – 16.00 WIB. Sesi ini mewakili aktivitas penggunaan ATM menjelang berakhirnya kegiatan akademik dan operasional kampus.

Instrumen yang digunakan dalam pengumpulan data ini meliputi alat pencatat waktu (*stopwatch* atau jam digital pada ponsel) dan lembar observasi (*tally sheet*) untuk mencatat waktu kedatangan dan waktu pelayanan setiap nasabah.

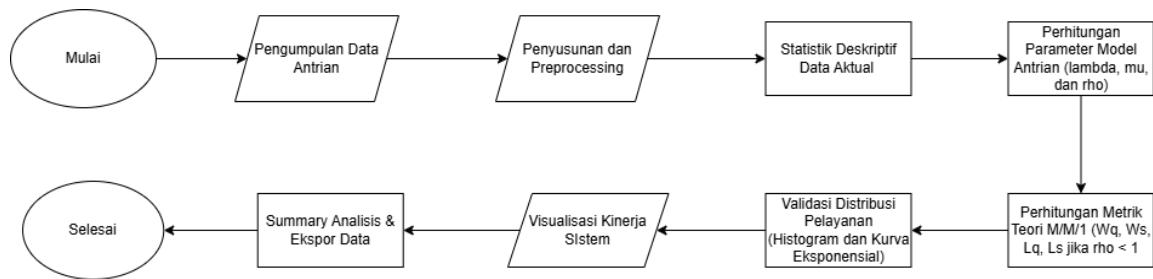
3.3 Variabel yang diamati

Untuk melakukan pemodelan sistem antrean M/M/1, diperlukan data kuantitatif yang akurat. Berdasarkan teknik pengumpulan data di atas, variabel-variabel utama yang diamati dan dicatat dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Waktu Kedatangan Pelanggan (t_{datang}): Waktu saat seorang nasabah tiba di lokasi ATM dan bergabung dalam barisan antrean atau langsung menuju mesin

- jika kondisi kosong. Variabel ini digunakan untuk menghitung laju kedatangan (lambda).
2. Waktu Mulai Pelayanan (t_{mulai}): Waktu saat nasabah mulai menggunakan mesin ATM.
 3. Waktu Selesai Pelayanan (t_{selesai}): Waktu saat nasabah menyelesaikan transaksinya dan meninggalkan mesin ATM.
 4. Waktu Pelayanan (W_s): Selisih antara waktu selesai pelayanan dengan waktu mulai pelayanan ($t_{\text{selesai}} - t_{\text{mulai}}$). Variabel ini digunakan untuk menghitung laju pelayanan (μ).
 5. Waktu Tunggu (W_q): Selisih antara waktu mulai pelayanan dengan waktu kedatangan ($t_{\text{mulai}} - t_{\text{datang}}$). Variabel ini menunjukkan lamanya nasabah menunggu dalam antrian sebelum dilayani.
 6. Jumlah Pelanggan (n): Total banyaknya nasabah yang datang dan diamati selama periode pengamatan berlangsung.

3.4 Diagram Alir



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian pada Gambar 3.1 ini menggambarkan langkah-langkah sistematis dalam memodelkan antrian ATM BNI ITERA. Proses dimulai dari pengumpulan dan pengolahan awal data waktu antrian untuk memastikan data yang digunakan valid. Selanjutnya dihitung parameter penting seperti laju kedatangan, laju pelayanan, dan tingkat utilisasi. Perhitungan metrik antrian seperti W_q dan W_s hanya dilakukan jika sistem berada dalam kondisi stabil ($\rho < 1$). Setelah itu, model divalidasi dengan membandingkan pola waktu pelayanan terhadap distribusi eksponensial melalui histogram. Tahapan terakhir berupa visualisasi hasil serta penyusunan keluaran data yang menjadi dasar evaluasi kinerja sistem.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Deskripsi Data

Data penelitian ini mencakup 313 pelanggan yang diperoleh melalui pengamatan langsung terhadap aktivitas antrean ATM BNI yang berlokasi di lingkungan ITERA. Pengamatan dilakukan selama lima hari, yakni Senin hingga Jumat, dengan tujuan untuk menangkap variasi penggunaan ATM. Setiap hari pengamatan dibagi menjadi tiga sesi, yaitu sesi 1 pada pukul 10.00-11.00, sesi 2 pada pukul 12.00-13.00, dan Sesi 3 pada pukul 15.00-16.00. Pembagian sesi tersebut dimaksudkan untuk merepresentasikan perbedaan intensitas penggunaan ATM pada pagi, siang, dan sore hari.

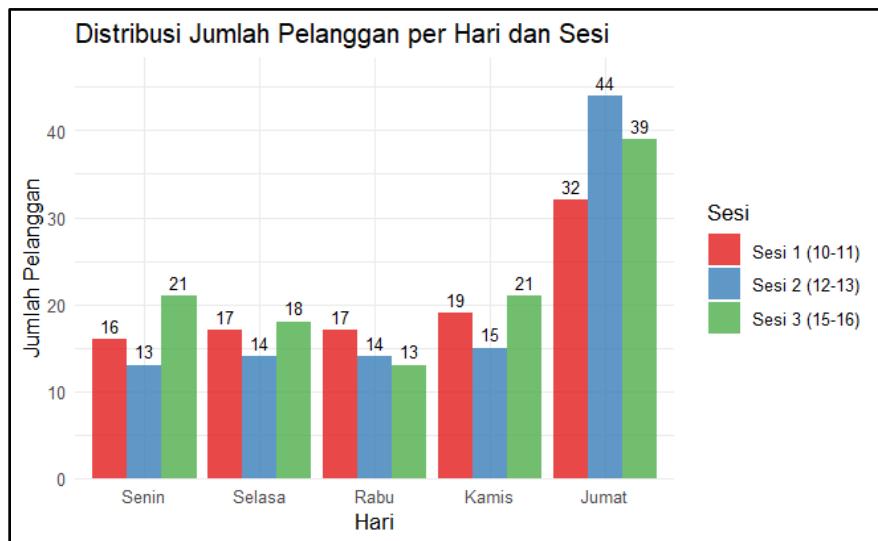
Penyajian data jumlah pelanggan dilakukan dengan mengelompokkan seluruh pengamatan berdasarkan hari dan sesi. Rekapitulasi tersebut ditampilkan dalam Tabel 4.1 yang memuat jumlah pelanggan pada setiap kombinasi hari dan sesi pengamatan.

Tabel 4.1 Jumlah Pelanggan per Hari dan Sesi

Hari	Sesi 1	Sesi 2	Sesi 3	Total
Senin	16	13	21	50
Selasa	17	14	18	49
Rabu	17	14	13	44
Kamis	19	15	21	55
Jumat	32	44	39	115

Tabel 4.1 Menunjukkan bahwa jumlah pengguna ATM BNI dari hari Senin hingga Kamis selama periode pengamatan relatif stabil, berkisar antara 44 hingga 55 pelanggan tiap harinya dengan distribusi yang cukup merata pada tiap sesi pengamatan. Namun, kondisi yang berbeda terlihat pada hari Jumat, di mana terjadi lonjakan signifikan hingga mencapai 115 pelanggan yang dikarenakan adanya kegiatan Riu Wisuda yang membuat jumlah mahasiswa, keluarga, dan tamu undangan meningkat di area kampus. Hal ini menjadikan pada saat observasi hari Jumat menjadi hari dengan beban antrean tertinggi dibandingkan hari-hari lainnya.

Pola perbedaan aktivitas tiap harinya terlihat pada Gambar 4.1 yang menampilkan distribusi jumlah pelanggan per hari dan per sesi sebagai berikut.



Gambar 4.1 Distribusi Jumlah pelanggan per hari dan per sesi

Gambar 4.1 menunjukkan pola jumlah pelanggan pada hari senin hingga jumat dalam tiga rentang waktu pengamatan. Grafik menunjukkan aktivitas pengguna tidak selalu bergerak secara linear. Perbedaan tinggi batang antar sesi juga membuat pola fluktuasi penggunaan mesin ATM BNI terlihat lebih jelas, terutama pada saat siang hari. Visualisasi membantu menunjukkan bahwa setiap hari memiliki karakteristik waktu sibuknya masing-masing, sehingga tidak semua sesi mempunyai pola penggunaan yang sama dan variasi yang ditunjukkan antar sesi lebih mudah diidentifikasi.

Variabel waktu tunggu dan waktu pelayanan dicatat untuk setiap pelanggan sebagai dasar perhitungan kinerja antrean. Waktu pelayanan menunjukkan lamanya proses transaksi yang diperlukan mesin ATM untuk menyelesaikan layanan, sedangkan waktu tunggu menunjukkan lamanya pelanggan berada dalam antrean sebelum dilayani. Ringkasan rata-rata waktu pelayanan dan waktu tunggu pada setiap hari dan sesi ditampilkan pada Tabel 4.2 berikut.

Tabel 4.2. Rata-Rata Waktu Pelayanan dan Waktu Tunggu

Hari	Waktu Pelayanan Sesi 1 (menit)	Waktu Pelayanan Sesi 2 (menit)	Waktu Pelayanan Sesi 3 (menit)	Waktu Tunggu Sesi 1 (menit)	Waktu Tunggu Sesi 2 (menit)	Waktu Tunggu Sesi 3 (menit)
Senin	1.75	1.77	1.19	0.69	0.77	0.14
Selasa	1.65	1.43	1.28	0.35	0.36	0.39
Rabu	1.24	1.29	1.38	0.76	0.21	0.38
Kamis	1.21	1.20	1.24	0.42	0.20	0.33
Jumat	1.41	1.25	1.28	0.75	1.09	0.87

Tabel 4.2 menunjukkan rata-rata waktu pelayanan dan waktu tunggu pada setiap hari dan sesi. Waktu pelayanan tampak cukup stabil dengan nilai sekitar satu hingga dua menit. Waktu tunggu lebih bervariasi, dan pada hari Jumat beberapa sesi mencatat nilai yang lebih tinggi dibandingkan hari lain. Pola ini memberi gambaran awal mengenai perbedaan kondisi antrean pada masing-masing periode pengamatan.

4.2 Hasil Perhitungan

Berdasarkan observasi yang dilakukan terhadap aktivitas antrean di ATM BNI ITERA selama lima hari, pengumpulan data dilakukan dalam tiga sesi pengamatan setiap harinya dalam waktu 1 jam sehingga total waktu observasi adalah 15 jam. Pembagian sesi ini dilakukan karena pola kedatangan pengguna ATM tidak bersifat konstan sepanjang harinya. Dengan digunakannya pendekatan tiap sesi, laju kedatangan (λ) dan laju pelayanan (μ) dapat dihitung lebih akurat sesuai kondisi di masing-masing hari. Untuk memahami bagaimana performa ATM BNI ITERA dalam menangani antrean dilakukan perhitungan dengan parameter sistem antrean menggunakan model M/M/1. Model ini digunakan karena sesuai dengan karakteristik layanan ATM, dimana kedatangan nasabah bersifat acak dan waktu pelayanannya mengikuti distribusi eksponensial. Hasil perhitungan parameter utama model M/M/1 seperti nilai seperti nilai laju kedatangan (λ), laju pelayanan (μ), utilisasi sistem (ρ), waktu tunggu teoretis (W_q dan W_s), serta ekspektasi panjang antrean (L_q dan L_s), ditampilkan pada Tabel 4.3 berikut.

Tabel 4.3 Parameter Kinerja sistem Antrean ATM BNI ITERA per hari

Hari	λ (/jam)	μ (/jam)	ρ	L_q (/orang)	W_q (/menit)	L_s (/orang)	W_s (/menit)
Senin	16.667	39.474	0.422	0.309	1.111	0.731	2.631
Selasa	16.333	41.408	0.394	0.257	0.944	0.651	2.393
Rabu	14.667	46.316	0.317	0.147	0.600	0.463	1.896
Kamis	18.333	49.254	0.372	0.221	0.722	0.593	1.940
Jumat	38.333	46.000	0.833	4.167	6.522	5.000	7.826

Dari tabel 4.3 dapat terlihat bahwa performa sistem antrean BNI ITERA memiliki pola variasi setiap hari saat periode pengamatan. Utilisasi sistem (ρ) menunjukkan kisaran yang cukup lebar dari yang terendah 31,7% (pada hari Rabu) hingga paling tinggi 83,3% (pada hari Jumat). Pola serupa juga teramati pada parameter panjang antrean rata-rata (L_q) dan waktu tunggu rata-rata (W_q) di mana kedua nilai bergerak searah dengan tingkat utilisasi sistem. Hasil perhitungan lebih lanjut mengonfirmasi bahwa seluruh hari pengamatan dalam konsisi sistem yang stabil ($\rho < 1$), dengan empat hari mencatat kinerja optimal yaitu dibawah 45% dan satu hari (Jumat) menunjukkan kondisi yang mendekati batas kapasitas. Fluktuasi ini merefleksikan perbedaan pola penggunaan ATM yang berbeda tiap harinya dan diperlukan analisis lebih lanjut agar memahami faktor-faktor penyebab variasi ini.

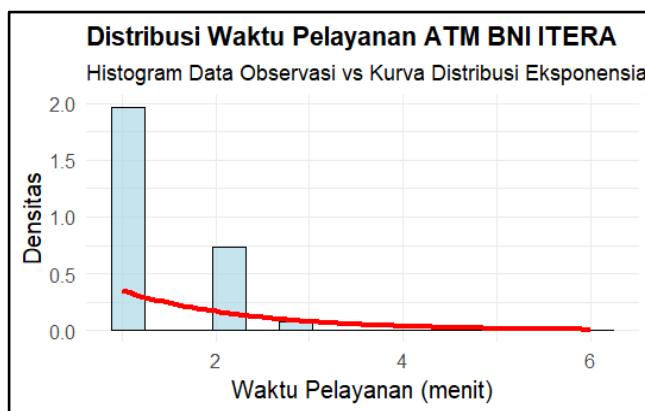
4.3 Interpretasi Hasil

Berdasarkan hasil tabel 4.3 Tingkat utilisasi sistem (rho) sebesar 83.3% pada hari Jumat mencerminkan kondisi operasional ATM BNI ITERA hampir tidak mampu menampung lonjakan pelanggan. Kondisi ini berkaitan dengan adanya penyelenggaraan Riuh Wisuda di ITERA. Banyak mahasiswa, keluarga, dan tamu undangan memadati kampus yang berdampak juga terhadap tingginya antrean di ATM. Berdasarkan observasi, waktu tunggu teoritis 6.5 menit pada hari Jumat dapat mengganggu kelancaran transaksi pengguna karena laju kedatangan yang meningkat secara membuat kapasitas layanan mendekati batas kapasitas maksimal.

Pada hari Jumat, peningkatan laju kedatangan meningkatkan nilai ρ mencapai 0.833 yang kemudian juga menaikkan panjang antrean menjadi 4.167 orang dan waktu tunggu menjadi 6.522 menit. Kondisi ini berbeda dengan hari Senin hingga Kamis, ketika laju kedatangan berada pada tingkat yang lebih rendah dan laju pelayanan tetap stabil sehingga nilai utilisasi berada di bawah 0.45. Pada periode tersebut, panjang antrean rata-rata masih di bawah 0.8 orang dan waktu tunggu teoretis kurang dari satu menit, menandakan bahwa sebagian besar pengguna dapat langsung dilayani tanpa penumpukan. Perbedaan ini menunjukkan bahwa beban kedatangan pada hari Jumat jauh lebih tinggi dibandingkan kemampuan layanan mesin ATM, sehingga antrean menjadi lebih panjang dan efisiensi sistem menurun.

4.4 Pembahasan Hasil Model M/M/1

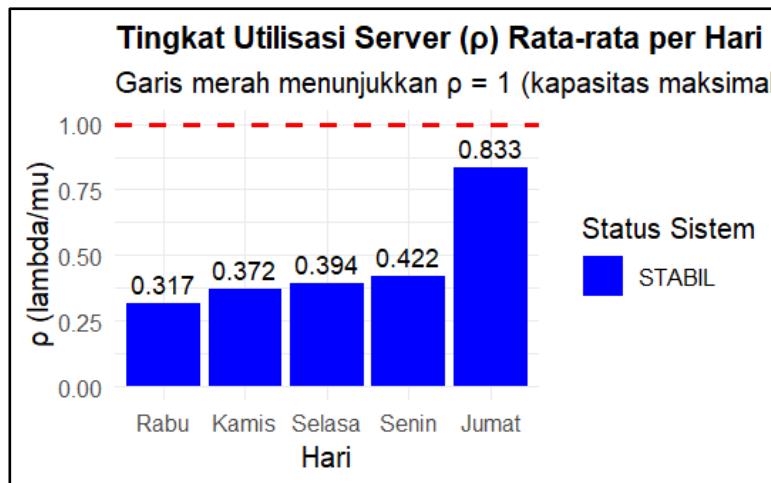
Berdasarkan data observasi antrean ATM BNI ITERA, akan melakukan pembahasan yang berfokus pada dua aspek utama yaitu pola distribusi waktu pelayanan dan tingkat utilisasi sistem. Aspek-aspek ini akan memberikan gambaran secara komprehensif mengenai bagaimana performa mesin ATM BNI dalam melayani pengguna selama periode pengamatan yang akan dijabarkan pada Gambar 4.2 berikut.



Gambar 4.2 Distribusi Waktu Pelayanan ATM BNI ITERA

Histogram yang terlihat pada Gambar 4.2 diatas yang membandingkan waktu pelayanan dengan kurva distribusi eksponensial teoritis, teramatinya bahwa mayoritas transaksi ATM yang diselesaikan dalam waktu yang relatif singkat. Pola sebaran data menunjukkan karakteristik yang mendekati distribusi eksponensial, sehingga asumsi dasar model M/M/1 dapat dipertimbangkan untuk diterapkan dalam analisis ini. Kecenderungan ini mengindikasikan bahwa proses pelayanan di ATM bersifat acak dan tidak bergantung

pada waktu pelayanan sebelumnya, sesuai dengan sifat *memoryless* yang menjadi ciri khas distribusi eksponensial. Meskipun terdapat variasi dalam durasi pelayanan untuk beberapa transaksi tertentu, penyimpangan ini tidak signifikan secara keseluruhan dan tidak mengubah pola dasar distribusi.



Gambar 4.3 Tingkat Utilisasi Server per hari

Seperti yang terlihat pada Gambar 4.3, Analisis tingkat utilisasi sistem menunjukkan pola yang beragam selama seminggu operasional. Pada hari Senin hingga Kamis, utilisasi server berada dalam kisaran 30-39%, mengindikasikan kondisi operasi yang relatif longgar dimana sistem masih memiliki kapasitas cadangan yang cukup untuk menangani kedatangan pengguna tanpa membentuk antrean signifikan. Namun, pola berubah pada hari Jumat dimana utilisasi melonjak hingga 83.3%, mendekati kapasitas maksimal sistem. Lonjakan ini menyebabkan antrean teoritis meningkat menjadi 4.167 orang dengan waktu tunggu rata-rata mencapai 6.5 menit yang menciptakan titik kritis dalam operasional sistem. Fenomena ini diduga terkait dinamika aktivitas kampus seperti acara wisuda atau persiapan akhir pekan yang memicu peningkatan permintaan layanan. Secara umum sistem tetap berada dalam kondisi stabil, namun hari Jumat memerlukan pendekatan manajemen khusus agar kualitas pelayanan dan kenyamanan pengguna tetap terjaga. Secara keseluruhan, analisis grafik dan parameter antrean menunjukkan bahwa sistem ATM BNI ITERA sesuai dengan karakteristik model M/M/1. Pola pelayanan yang menyerupai distribusi eksponensial serta variasi utilisasi antarhari memperlihatkan bagaimana ATM bekerja dalam kondisi nyata. Hasil ini menegaskan bahwa model M/M/1 mampu merepresentasikan kinerja layanan dengan baik dan menjawab tujuan penelitian.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan mengenai pemodelan antrean pada ATM BNI ITERA menggunakan model M/M/1, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Karakteristik Distribusi Data

Hasil pengujian distribusi menunjukkan bahwa pola waktu pelayanan pada ATM BNI ITERA mengikuti distribusi eksponensial. Hal ini terlihat dari kesesuaian antara histogram data observasi dengan kurva teoritis distribusi eksponensial, yang memvalidasi penggunaan model M/M/1 (satu server, kedatangan acak, pelayanan eksponensial) sebagai metode yang tepat untuk merepresentasikan sistem antrean ini.

2. Kinerja Sistem Antrean (Stabilitas)

Kinerja sistem antrean menunjukkan variasi yang signifikan antarhari. Pada hari Senin hingga Kamis, sistem beroperasi dalam kondisi sangat stabil dengan tingkat utilisasi (ρ) yang rendah, berkisar antara 31,7% hingga 42,2%. Sebaliknya, pada hari Jumat terjadi lonjakan beban sistem yang drastis dengan tingkat utilisasi mencapai 83,3%, yang mengindikasikan bahwa mesin ATM bekerja mendekati kapasitas maksimalnya akibat adanya aktivitas padat di lingkungan kampus.

3. Metrik Waktu Tunggu dan Antrean

Efisiensi layanan sangat baik pada hari kerja biasa (Senin-Kamis) dengan rata-rata waktu tunggu dalam antrean (W_q) yang sangat singkat, yaitu di bawah 1,2 menit tiap pelanggan. Namun, pada kondisi padat di hari Jumat, rata-rata waktu tunggu melonjak hingga mencapai sekitar 6,5 menit, dengan rata-rata panjang antrean (L_q) mencapai lebih dari 4 orang. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun secara umum fasilitas memadai, kualitas layanan (QoS) mengalami penurunan signifikan pada waktu tertentu.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil observasi yang dilakukan, terdapat lonjakan utilisasi mesin ATM pada hari Jumat. Karena itu, pihak pengelola disarankan melakukan pemeliharaan preventif sebelum memasuki jam-jam sibuk agar mesin tetap berfungsi optimal. Jika pola peningkatan jumlah pengguna ini terjadi secara berulang, penambahan mesin ATM atau alternatif fasilitas lainnya dapat dipertimbangkan agar menghindari antrean panjang. Untuk penelitian selanjutnya, durasi pengamatan perlu diperluas seperti mencakup periode awal bulan atau momen tertentu yang meningkatkan aktivitas transaksi, serta membandingkan penelitian dengan model antrean lain atau simulasi kejadian diskrit untuk memperoleh evaluasi kinerja sistem yang lebih menyeluruh.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Jamhary, A. H. U. Tumanggor, and I. R. Triyanto, “Analisis antrian pada ATM Kampus Sari Mulia,” *Manajemen dan Rekayasa Industri*, vol. 1, no. 1, pp. 1–8, 2024.
- [2] E. Pratama and D. Devianto, “Analisis sistem antrian satu server (M/M/1),” *Jurnal Matematika UNAND*, vol. 2, no. 4, pp. 59–66, 2014.
- [3] K. Botutihe, J. S. B. Sumarauw, and M. Karuntu, “Analisis sistem antrian teller guna optimalisasi pelayanan pada PT Bank Negara Indonesia (BNI) 46 Cabang Unit Kampus Manado,” *Jurnal EMBA: Jurnal Riset Ekonomi, Manajemen, Bisnis dan Akuntansi*, vol. 6, no. 3, pp. 1198–1207, 2018.
- [4] M. N. Khasanah and Y. P. Astuti, “Analisis sistem antrian pada optimalisasi pelayanan pasien di Pusat Kesehatan Masyarakat,” *MATHunesa: Jurnal Ilmiah Matematika*, vol. 10, no. 1, pp. 170–179, 2022.
- [5] D. C. Silaban and M. Zulfin, “Analisis kinerja sistem antrian M/M/1,” *SINGUDA ENSIKOM*, vol. 7, no. 3, pp. 165–170, Jun. 2014.
- [6] A. L. Suban, S. M. Itu, R. Nagen, and Y. M. Rai Le’o, “Analisis sistem antrian pembayaran registrasi mahasiswa dengan model antrian single channel-single phase pola M/M/1,” *Jurnal INCRETE (Inovasi & Kreasi dalam Teknologi Informasi)*, vol. 8, pp. 24–31, 2021.
- [7] S. Wijaya and Y. Astuti, “Penerapan sistem antrean untuk menentukan jumlah jalur optimal pada stasiun bahan bakar umum berdasarkan biaya operasional layanan dan biaya tunggu customer,” *MATHunesa: Jurnal Ilmiah Matematika*, vol. 9, no. 4, pp. 474–483, 2021.
- [8] M. Darip, A. Rohman, Rudianto, and M. Hidayatullah, “Simulasi model antrean menggunakan pendekatan algoritma FIFO di kantin sekolah (Studi Kasus: SMA Mandiri Balaraja),” *INFOTECH Journal*, vol. 11, no. 1, pp. 61–67, 2025.
- [9] A. S. Wahyuni and D. Widada, “Penerapan teori antrean pada antrian mekanik saat pengambilan spare part di warehouse PT Widya Sapta Contractor,” *Jurnal Teknik Industri (JATRI)*, vol. 3, no. 1, pp. 12–21, 2025.
- [10] D. Gross, J. F. Shortle, J. M. Thompson, and C. M. Harris, *Fundamentals of Queueing Theory*, 5th ed. Hoboken, NJ: Wiley, 2018.
- [11] G. Reski, Y. Asdi, and Maiyastri, “Analisis model antrian pada layanan teller umum Bank Nagari Cabang Universitas Andalas,” *Jurnal Matematika UNAND*, vol. 8, no. 2, pp. 91–98, 2019.