

**LAPORAN TUGAS AKHIR  
PRAKTIKUM ANTRIAN DAN SIMULASI**



Yogyakarta, 20 November 2024

Dosen Pengampu : Dr. Dwi Ertiningsih, M.Si.

Dr. Irwan Endrayanto Aluicius, S.Si., M.Sc.

Asistem Praktikum : Gian Luky Saputra (20487)

Mohammad Dafi Nazwa Aulia (20547)

**Kelompok 4**

Josevine Gabriela W. (22/493339/PA/21180)

Erlin Shofiana (22/493520/PA/21196)

Zumrotul Inayah (22/498498/PA/21524)

Talitha Tahara Daffa Mentari (22/505391/PA/21763)

**LABORATORIUM KOMPUTASI STATISTIKA DAN MATEMATIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS GADJAH MADA  
2024**

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **I. Latar Belakang**

Kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi yang begitu pesat saat ini dimanfaatkan oleh para pelaku bisnis untuk meningkatkan daya saing di dunia usaha. Perubahan ini terlihat dari beragam aktivitas yang sebelumnya dilakukan secara manual kini menjadi lebih praktis dan efisien. Salah satu sektor yang menghadapi persaingan ketat adalah industri jasa pengiriman.

Perkembangan teknologi juga memiliki dampak besar dalam berbagai bidang, termasuk ekonomi. Salah satu contohnya adalah maraknya bisnis e-commerce, yang memungkinkan masyarakat memenuhi kebutuhan sehari-hari melalui platform daring. Dengan sistem yang dirancang menarik dan mudah digunakan, aplikasi e-commerce menjadi pilihan utama bagi banyak orang. Kehadiran platform ini turut mendukung perkembangan jasa pengiriman barang, karena sebagian besar transaksi e-commerce mengandalkan layanan pengiriman untuk mengantarkan pesanan kepada pelanggan.

Namun, peningkatan permintaan ini sering kali menyebabkan antrian dalam proses pelayanan. Antrian, yang merupakan kondisi di mana permintaan pelayanan melebihi kapasitas yang tersedia, menjadi tantangan umum yang sering dijumpai. Antrean melibatkan proses kedatangan pelanggan atau barang yang menunggu untuk dilayani. Oleh karena itu, perusahaan perlu memastikan pelayanan yang cepat dan efisien agar pelanggan tidak merasa terbengkalai.

Untuk mengatasi permasalahan ini, penerapan metode antrian menjadi salah satu solusi efektif. Metode ini digunakan untuk mengevaluasi dan meningkatkan kinerja pelayanan perusahaan jasa pengiriman, dengan tujuan meningkatkan efisiensi layanan dan daya tarik bagi pelanggan. Pentingnya sistem pelayanan yang baik bagi perusahaan tidak hanya berperan dalam mempertahankan kepuasan pelanggan tetapi juga memberikan dampak positif terhadap keuntungan perusahaan secara keseluruhan.

Pada penelitian ini digunakan model antrian G/M/1 yang memiliki waktu antar kedatangan pelanggan berdistribusi eksponensial dan waktu pelayanan mengikuti distribusi umum. Model antrian ini memiliki asumsi yang terbalik dari model antrian M/G/1 yang waktu antar kedatangannya memiliki distribusi umum dan waktu pelayanannya mengikuti distribusi eksponensial.

## II. Deskripsi Masalah

### Simulasi Antrian G/M/1 di Sebuah Layanan Pengiriman Cepat dengan Variasi Waktu Kedatangan

Perusahaan layanan pengiriman cepat membutuhkan analisis mendalam mengenai kinerja sistem antrian di pusat distribusinya. Pada pusat ini, paket yang datang diproses oleh satu kurir, namun pola kedatangan paket menunjukkan karakteristik yang kompleks. Tidak seperti distribusi Poisson yang umum digunakan dalam model antrian tradisional, pola kedatangan paket pada perusahaan ini dipengaruhi oleh fluktuasi musiman dan promosi, yang menciptakan variasi waktu kedatangan berdasarkan jam operasional.

Sistem antrian yang relevan untuk memodelkan kondisi ini adalah G/M/1, di mana distribusi waktu kedatangan bersifat umum (generalized), sementara waktu pelayanan mengikuti distribusi eksponensial dengan rata-rata waktu pemrosesan 2 menit per paket. Kedatangan paket dipengaruhi oleh beberapa faktor berikut:

- **Jam sibuk (09.00–12.00):** Distribusi waktu kedatangan mengikuti distribusi Normal dengan rata-rata 40 paket per jam dan standar deviasi 10 paket per jam.
- **Jam tidak sibuk (12.00–18.00):** Distribusi waktu kedatangan mengikuti distribusi Eksponensial dengan rata-rata 20 paket per jam.
- **Jam malam (18.00–24.00):** Distribusi waktu kedatangan mengikuti distribusi Uniform dengan interval 10 hingga 30 paket per jam.

Perusahaan menghadapi kendala operasional, di antaranya:

1. Kurir di pusat distribusi bekerja sendirian selama 15 jam per hari (09.00–24.00) dengan biaya operasional sebesar Rp50.000 per jam.
2. Setiap paket memberikan keuntungan Rp10.000, namun perusahaan dikenakan denda sebesar Rp5.000 untuk setiap paket yang menunggu lebih dari 15 menit dalam antrian.
3. Perusahaan menargetkan untuk memproses 95% paket tanpa keterlambatan guna menjaga kepuasan pelanggan dan meningkatkan efisiensi.

Sebagai analis operasional, tugas utama adalah membuat simulasi sistem antrian G/M/1 untuk memodelkan kinerja pusat distribusi, dengan tujuan mengevaluasi potensi perbaikan operasional. Simulasi ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai:

- Rata-rata waktu tunggu paket dalam antrian pada masing-masing periode (jam sibuk, tidak sibuk, dan malam).
- Distribusi panjang antrian pada setiap periode waktu.
- Probabilitas keterlambatan paket (waktu tunggu lebih dari 15 menit).
- Biaya operasional harian untuk membayar kurir dan total denda keterlambatan.

- Keuntungan bersih harian perusahaan setelah memperhitungkan biaya operasional dan denda.

Selain itu, beberapa skenario alternatif diusulkan untuk dievaluasi:

1. **Skenario Alternatif 1:** Menganalisis dampak peningkatan jumlah paket pada jam malam akibat promosi, di mana waktu kedatangan mengikuti distribusi Normal dengan rata-rata 35 paket per jam dan standar deviasi 5 paket per jam. Analisis mencakup probabilitas keterlambatan, biaya operasional, dan keuntungan bersih.
2. **Skenario Alternatif 2:** Menambahkan satu kurir tambahan selama jam sibuk (09.00–12.00) untuk mengevaluasi apakah:
  - Waktu tunggu paket di jam sibuk dapat berkurang secara signifikan.
  - Probabilitas keterlambatan menurun.
  - Biaya operasional tambahan dapat diimbangi oleh peningkatan keuntungan.
3. **Skenario Alternatif 3:** Mengurangi jam operasional menjadi 12 jam per hari (09.00–21.00) untuk menilai dampaknya terhadap biaya operasional, probabilitas keterlambatan, dan total keuntungan perusahaan.

Pada penelitian ini akan dilakukan simulasi dan analisis untuk menyelesaikan permasalahan yang ada.

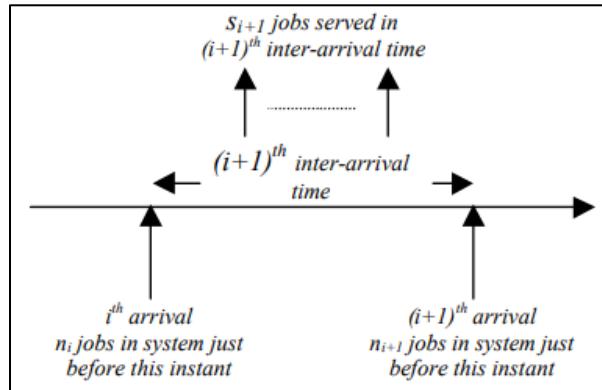
## BAB II

### METODOLOGI

#### I. Metodologi Penelitian

G/M/1 *Queue* sering disebut sebagai kebalikan dari M/G/1 *Queue*. Pada M/G/1 *Queue*, waktu antar kedatangan pelanggan mengikuti distribusi eksponensial, sedangkan waktu pelayanan dapat mengikuti distribusi umum (*general distribution*). Pada G/M/1 *Queue*, waktu pelayanan mengikuti distribusi eksponensial dengan rata-rata  $\frac{1}{\mu}$  sedangkan proses kedatangan bersifat umum, dengan tingkat kedatangan rata-rata  $\lambda$ . Waktu antar kedatangan pelanggan dinyatakan melalui fungsi pdf  $a(t)$ , cdf  $A(t)$ , dan transformasi Laplace  $L_A(s)$ . Total trafik dalam sistem dinyatakan dengan  $\rho = \frac{\lambda}{\mu}$ , yang menunjukkan seberapa sibuk server dalam melayani pelanggan. Sistem akan berada dalam kondisi stabil hanya jika  $\rho < 1$ . Jika  $\rho \geq 1$ , sistem akan mengalami antrian tak terbatas karena server tidak mampu menangani tingkat kedatangan yang tinggi.

Untuk menganalisis model antrian G/M/1, digunakan pendekatan Imbedded Markov Chain, dengan titik imbedded dipilih pada saat kedatangan pelanggan ke sistem. Keadaan sistem dinyatakan sebagai jumlah pelanggan dalam sistem tepat sebelum kedatangan baru. Misalkan  $n_i$  adalah jumlah pelanggan dalam sistem sebelum kedatangan ke- $i$ , dan  $s_{i+1}$  adalah jumlah pelanggan yang selesai dilayani antara kedatangan ke- $i$  dan ke- $(i+1)$ .



Persamaan dasar yang menggambarkan perubahan keadaan sistem dapat dituliskan sebagai:

$$n_{i+1} = n_i + 1 - s_{i+1} \text{ di mana } (n_i \geq 0) \text{ dan } (s_{i+1} \leq n_i + 1).$$

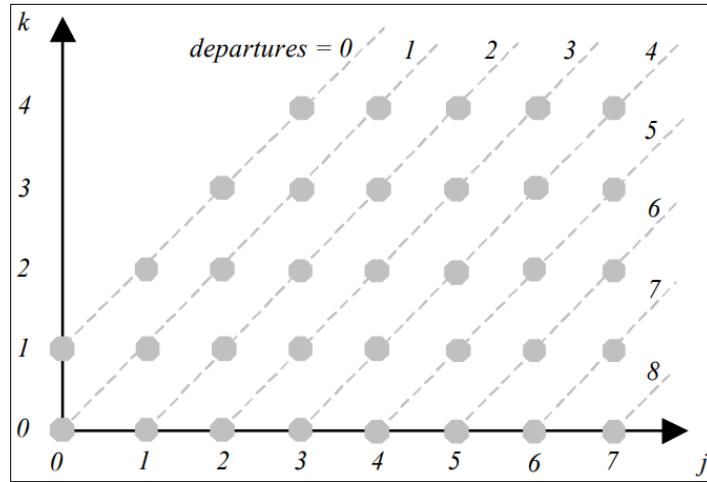
Probabilitas transisi satu langkah dari keadaan  $j$  ke  $k$  diberikan oleh:

$$p_{jk} = P(n_{i+1} = k \mid n_i = j) \text{ dengan } (p_{jk} = 0) \text{ untuk } (k > j + 1).$$

Persamaan keseimbangan untuk keadaan sistem pada ekuilibrium adalah:

$$p_k = \sum_{j=0}^{\infty} p_j p_{jk} \text{ dengan } (k \geq 0)$$

Kondisi normalisasi dipenuhi jika  $\sum_{k=0}^{\infty} p_k = 1$ , yang merupakan syarat dasar untuk distribusi probabilitas.



Dalam grafik tersebut, transisi dari keadaan  $j$  ke keadaan  $k$  hanya dimungkinkan jika  $k \leq j+1$ . Garis putus-putus pada grafik menandakan jumlah departures yang terjadi antara dua titik kedatangan berturut-turut. Titik-titik di luar garis ini menunjukkan transisi yang tidak mungkin terjadi, misalnya ketika terdapat lebih banyak pelanggan yang selesai dilayani dibandingkan dengan jumlah pelanggan yang ada dalam sistem. Distribusi steady-state dari jumlah pelanggan dalam sistem ditentukan dengan menyusun persamaan keseimbangan yang menghubungkan probabilitas keadaan dengan probabilitas transisi antar keadaan.

Persamaan keseimbangan untuk probabilitas sistem kosong ( $p_0$ ) didasarkan pada jumlah departures yang terjadi dalam interval antar-kedatangan. Persamaan ini dapat dirumuskan sebagai:

$$p_0 = \sum_{k=0}^{\infty} a_{k+1} p_k$$

di mana  $a_{k+1}$  adalah probabilitas terdapat  $k+1$  departures dalam interval waktu antar-kedatangan.

Untuk probabilitas terdapat  $j$  pelanggan dalam sistem ( $p_j$ ), persamaan keseimbangannya adalah:

$$p_j = a_0 p_{j-1} + \sum_{k=0}^{\infty} a_{k+1} p_k \quad j = 0, 1, \dots, \infty$$

Probabilitas  $\alpha_j$  menggambarkan jumlah departures  $j$  yang terjadi dalam interval waktu antar-kedatangan, dengan asumsi bahwa server selalu sibuk selama interval tersebut. Probabilitas ini mengikuti distribusi Poisson, yang disebabkan oleh sifat waktu pelayanan yang eksponensial. Formula  $\alpha_j$  dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\alpha_j = \int_0^{\infty} \frac{(\mu x)^j}{j!} e^{-\mu x} a(x) dx \quad j = 0, 1, \dots, \infty$$

Probabilitas  $\alpha_j$  juga dapat dihitung melalui transformasi Laplace dari pdf waktu antar-kedatangan,  $L_A(s)$ :

$$\sum_{j=0}^{\infty} \alpha_j z^j = \int_0^{\infty} e^{-\mu x(1-z)} a(x) dx = L_A(\mu - \mu z)$$

Persamaan keseimbangan sistem pada kondisi steady-state adalah:

$$p_j = \alpha_0 p_{j-1} + \sum_{k=0}^{\infty} \alpha_{k+1} p_{j+k} \text{ dengan } (j \geq 0)$$

Solusi untuk distribusi steady-state dengan mempertimbangkan kondisi normalisasi  $\sum_{j=0}^{\infty} p_j = 1$ :

$$p_j = (1 - \sigma) \sigma^j \quad j = 0, 1, \dots, \infty$$

di mana  $\sigma$  adalah akar unik dari  $\sigma = L_A(\mu - \mu\sigma)$  pada interval  $0 < \sigma < 1$ .

Distribusi steady-state  $p_j$  menunjukkan probabilitas jumlah pelanggan dalam sistem sebelum kedatangan baru. Distribusi ini berlaku pada saat-saat kedatangan dan keberangkatan pelanggan berdasarkan Prinsip Kleinrock. Namun, distribusi ini tidak valid untuk momen waktu arbitrer karena sifat PASTA tidak berlaku pada proses kedatangan yang umum.

Dengan asumsi disiplin pelayanan First-Come, First-Served (FCFS), rata-rata waktu tunggu dalam antrian ( $W_q$ ) dapat dihitung dengan memanfaatkan sifat memori dari distribusi eksponensial pada waktu pelayanan. Rata-rata waktu tunggu ini dapat dinyatakan sebagai:

$$W_q = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{n}{\mu} (1 - \sigma) \sigma^n = \frac{\sigma}{\mu(1 - \sigma)}$$

Jika pelanggan menemukan sistem kosong saat kedatangan, waktu tunggu adalah nol (dengan probabilitas  $p_0$ ). Jika sistem tidak kosong, pelanggan akan menunggu hingga semua pelanggan yang ada selesai dilayani.

Selain itu, distribusi probabilitas dari waktu tunggu pelanggan ( $f_{W_q}(t)$ ) dalam antrian dapat dinyatakan sebagai:

$$f_{W_q}(t) = (1 - \sigma) \delta(t) + \mu(1 - \sigma) e^{-\mu(1 - \sigma)t}, \quad t \geq 0$$

Distribusi ini terdiri dari dua komponen, yaitu komponen delta  $((1 - \sigma) \delta(t))$  yang menunjukkan probabilitas waktu tunggu nol, dan komponen eksponensial  $(\mu(1 - \sigma) e^{-\mu(1 - \sigma)t})$  untuk kasus ketika pelanggan harus menunggu dalam antrian. Distribusi eksponensial ini juga memiliki lompatan pada  $t = 0$  akibat fungsi delta, yang menunjukkan probabilitas bahwa pelanggan baru langsung dilayani saat tiba.



## BAB III

### PEMBAHASAN

#### I. Hasil Simulasi

Berdasarkan deskripsi permasalahan studi kasus sebuah Layanan Pengiriman Cepat dengan Variasi Waktu Kedatangan, akan disimulasikan sistem antrian G/M/1 guna memodelkan kinerja pusat distribusi, serta untuk mengevaluasi potensi peningkatan atau perubahan dalam proses operasional guna memaksimalkan efisiensi dan keuntungan perusahaan.

Adapun detail antrian G/M/1 sebagai berikut

1. Pada jam sibuk (09.00-12.00), kedatangan paket mengikuti distribusi Normal dengan rata-rata 40 paket per jam dan standar deviasi 10 paket per jam.
2. Pada jam tidak sibuk (12.00-18.00), kedatangan paket mengikuti distribusi Eksponensial dengan rata-rata 20 paket per jam.
3. Pada jam malam (18.00-24.00), kedatangan paket mengikuti distribusi Uniform antara 10 hingga 30 paket per jam.
4. Waktu pemrosesan setiap paket mengikuti distribusi eksponensial dengan rata-rata 2 menit per paket.
5. Kurir di pusat distribusi bekerja sendirian dengan kecepatan layanan rata-rata 2 menit per paket
6. Biaya operasional kurir adalah Rp50.000 per jam, dan pusat distribusi beroperasi selama 15 jam per hari (09.00-24.00).
7. Setiap paket memberikan keuntungan Rp10.000 untuk perusahaan, namun jika paket harus menunggu lebih dari 15 menit dalam antrian, perusahaan dikenakan denda Rp5.000 per paket karena keterlambatan.
8. Target perusahaan adalah untuk memproses setidaknya 95% dari paket tanpa keterlambatan, tetapi dengan tetap menjaga biaya operasional kurir tetap efisien.

Berikut hasil simulasi sistem antrian G/M/1 dengan detail antrian seperti yang telah disebutkan diatas

Arrival Time (minutes)	Arrival Timestamp	Service Start Timestamp	Completion Timestamp	Service Time (minutes)	Waiting Time (minutes)	Packages in Queue
0	0.045256	09:02	09:02	0.063903	0.000000	1
1	0.088041	09:05	09:05	1.667659	0.000000	1
2	0.097199	09:05	09:06	0.095642	1.118177	2
3	0.218257	09:13	09:13	0.013698	0.000000	1
4	0.256331	09:15	09:15	2.746891	0.000000	1
...	...	...	...	...	...	...
304	14.592051	23:35	23:36	2.241358	0.748349	3
305	14.758401	23:45	23:45	4.348887	0.000000	1
306	14.879670	23:52	23:52	1.111744	0.000000	1
307	14.961185	23:57	23:57	1.633693	0.000000	1
308	14.964164	23:57	23:59	0.230597	1.454949	2

Dari hasil simulasi tersebut diperoleh :

- a. Rata-rata waktu tunggu paket dalam antrian pada jam sibuk, tidak sibuk, dan malam.

Rata-rata Waktu Tunggu pada Jam Sibuk (menit): 30.029254677100273  
Rata-rata Waktu Tunggu pada Jam Tidak Sibuk (menit): 19.99251679409283  
Rata-rata Waktu Tunggu pada Jam Malam (menit): 9.835624059190032

Pada hasil simulasi, waktu tunggu paket bervariasi berdasarkan periode waktu. Selama jam sibuk, rata-rata waktu tunggu mencapai 30,03 menit, menunjukkan adanya beban sistem yang tinggi yang memperlambat pelayanan. Pada jam tidak sibuk, waktu tunggu menurun menjadi 19,99 menit, mencerminkan perbaikan kinerja sistem karena beban kerja yang lebih rendah. Di jam malam, waktu tunggu menjadi yang tercepat dengan rata-rata hanya 9,84 menit, menunjukkan kondisi optimal dengan beban yang sangat ringan, sehingga pelayanan dapat dilakukan lebih efisien.

- b. Distribusi panjang antrian (jumlah paket yang menunggu) pada setiap periode waktu (jam sibuk, tidak sibuk, malam).

Rata-rata Panjang Antrean pada Jam Sibuk: 16.008130081300813  
Rata-rata Panjang Antrean pada Jam Tidak Sibuk: 8.772151898734178  
Rata-rata Panjang Antrean pada Jam Malam: 5.859813084112149

Panjang antrean juga memperlihatkan pola yang sejalan dengan waktu tunggu. Selama jam sibuk, rata-rata panjang antrean mencapai 16 paket, menunjukkan bahwa sistem menghadapi volume antrean yang tinggi. Pada jam tidak sibuk, panjang antrean berkurang menjadi 8,77 paket, menunjukkan kondisi yang lebih terkendali. Di jam malam, panjang antrean terendah dengan rata-rata hanya 5,86 paket, menandakan tingkat penggunaan sistem yang rendah, sehingga antrean dapat ditangani lebih cepat dan efisien.

- c. Probabilitas keterlambatan paket (paket yang menunggu lebih dari 15 menit dalam antrian).

$$\text{probabilitas keterlambatan} = \frac{\text{jumlah paket terlambat}}{\text{banyak paket dikirimkan}}$$

$$\text{probabilitas keterlambatan} = \frac{120}{309}$$

$$\text{probabilitas keterlambatan} = 0.38835$$

Dari hasil perhitungan, probabilitas keterlambatan paket, yaitu paket yang harus menunggu lebih dari 15 menit dalam antrian, adalah 0,38835 atau sekitar 38,84%. Artinya, dari total 309 paket yang dikirimkan, sekitar 38,84% di antaranya mengalami keterlambatan lebih dari 15 menit dalam proses pengiriman. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat proporsi cukup besar dari paket yang menghadapi waktu tunggu yang relatif lama, sehingga pengelolaan sistem pengiriman atau peningkatan efisiensi proses dapat menjadi prioritas untuk mengurangi kemungkinan keterlambatan.

- d. Biaya operasional harian yang dikeluarkan untuk membayar kurir, serta total denda keterlambatan.

$$\text{biaya operasional harian} = \text{jumlah jam beroperasi} \times 15000$$

Pada detail antrian telah disebutkan bahwa sebuah Layanan Pengiriman Cepat tersebut beroperasi selama 15 jam dari pukul 09.00 – 24.00. Oleh karena itu,

$$\text{biaya operasional harian} = 15 \times 15000$$

$$\text{biaya operasional harian} = 750000$$

Sementara itu total denda keterlambatan dapat diperoleh dari

$$\text{total denda keterlambatan} = \text{jumlah paket terlambat} \times 5000$$

$$\text{total denda keterlambatan} = 120 \times 5000$$

$$\text{total denda keterlambatan} = 600000$$

Berdasarkan perhitungan, biaya operasional harian yang dikeluarkan oleh perusahaan untuk membayar kurir mencapai Rp750.000, sementara total denda keterlambatan akibat 120 paket yang terlambat adalah Rp600.000.

- e. Keuntungan bersih harian perusahaan setelah memperhitungkan biaya operasional dan denda.

Keuntungan bersih harian perusahaan dapat dihitung sebagai berikut

$$\text{keuntungan bersih} = \text{daily\_revenue} - (\text{biaya operasional} + \text{denda keterlambatan})$$

Dengan daily revenue diperoleh dari

$$\text{daily revenue} = \text{banyak paket dikirimkan} \times 10000$$

$$\text{daily revenue} = 309 \times 10000$$

$$\text{daily revenue} = 3090000$$

Jadi

$$\text{keuntungan bersih} = 3090000 - (750000 + 600000)$$

$$\text{keuntungan bersih} = 1740000$$

Pendapatan harian perusahaan, dengan asumsi setiap paket menghasilkan pendapatan Rp10.000, mencapai Rp3.090.000 dari 309 paket yang dikirimkan. Setelah memperhitungkan biaya operasional dan denda keterlambatan, perusahaan masih memperoleh keuntungan bersih sebesar Rp1.740.000 per hari. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun ada biaya operasional yang cukup besar dan penalti akibat keterlambatan, perusahaan tetap mampu menghasilkan keuntungan. Namun, efisiensi operasional dan pengurangan keterlambatan tetap penting untuk meningkatkan margin keuntungan.

## II. Skenario Alternatif

### 1. Skenario Alternatif 1:

Evaluasi skenario di mana jumlah paket pada jam malam meningkat karena adanya promosi malam, sehingga waktu kedatangan mengikuti distribusi Normal dengan rata-rata 35 paket per jam dan standar deviasi 5 paket per jam.

Bagaimana ini memengaruhi probabilitas keterlambatan, biaya operasional, dan keuntungan bersih?

Probabilitas Keterlambatan Paket: 0.6658291457286433

Biaya Operasional Harian (Rp): 750000

Total Denda Keterlambatan (Rp): 1325000

Keuntungan Bersih Harian (Rp): 1905000

Dalam skenario 1 terdapat peningkatan jumlah paket pada jam malam sebagai akibat dari promosi malam yang menyebabkan waktu kedatangan paket mengikuti distribusi normal dengan rata-rata 35 paket per jam dan standar deviasi 5 paket per jam.

#### a. Probabilitas Keterlambatan

Peningkatan jumlah paket menyebabkan beban operasional menjadi lebih berat. Akibatnya, ada peningkatan dalam probabilitas keterlambatan paket dari yang semula 0,38835 menjadi 0,66583 yang menunjukkan lebih dari setengah pengiriman berpotensi terlambat.

#### b. Biaya Operasional

Dalam skenario ini, biaya operasional harian tetap pada Rp750.000. Hal ini karena waktu operasional tidak mengalami perubahan meskipun jumlah paket yang diproses meningkat dan kurir dibayar sesuai dengan waktu operasional.

#### c. Keuntungan Bersih

Meskipun terdapat peningkatan denda keterlambatan lebih dari dua kali lipat, keuntungan bersih harian masih menunjukkan peningkatan, yaitu sebesar Rp1.905.000 dari yang semula Rp1.740.000. Hal ini disebabkan oleh peningkatan volume pengiriman yang mendatangkan pendapatan yang lebih tinggi.

Peningkatan jumlah paket pada jam malam meningkatkan probabilitas keterlambatan, mempertahankan biaya operasional, dan menghasilkan keuntungan bersih yang lebih tinggi. Strategi ini menguntungkan secara finansial tetapi memerlukan pengelolaan yang baik untuk meminimalkan dampak keterlambatan pada pelanggan.

### 2. Skenario Alternatif 2:

Perusahaan ingin menguji apakah lebih baik menambah satu kurir tambahan untuk membantu pada jam sibuk (09.00-12.00). Simulasikan perubahan ini dan tentukan apakah:

Rata-rata Waktu Tunggu Paket (menit): 4.464394391154261  
Probabilitas Keterlambatan Paket: 0.08737864077669903  
Biaya Operasional Harian (Rp): 900000  
Total Denda Keterlambatan (Rp): 135000  
Keuntungan Bersih Harian (Rp): 2055000

Rata-rata Waktu Tunggu pada Jam Sibuk (menit): 0.822056016802168  
Rata-rata Waktu Tunggu pada Jam Tidak Sibuk (menit): 2.8604202843881854  
Rata-rata Waktu Tunggu pada Jam Malam (menit): 9.835624059190032

a. Waktu tunggu paket di jam sibuk berkurang secara signifikan.

- Hipotesis

$H_0$  : tidak ada penurunan signifikan dalam waktu tunggu pada jam sibuk setelah menambah satu kurir tambahan.

$H_1$  : ada perubahan signifikan dalam waktu tunggu pada jam sibuk setelah menambah satu kurir tambahan

- Tingkat Signifikansi

$$\alpha = 0,05$$

- Statistik Uji

T-statistic: -13.313020510462573, P-value: 7.929609987197456e-26  
Waktu tunggu paket di jam sibuk berkurang secara signifikan

$$p\text{-value} = 7,92961 \times 10^{-26}$$

- Daerah Kritik

$H_0$  ditolak apabila  $p\text{-value} < \alpha$

- Kesimpulan

Karena nilai  $p\text{-value} = 7,92961 \times 10^{-26} < \alpha = 0,05$  sehingga  $H_0$  ditolak atau dapat disimpulkan bahwa terdapat perubahan yang signifikan dalam waktu tunggu pada jam sibuk setelah menambah satu kurir tambahan.

**Interpretasi:**

Penambahan kurir efektif mengurangi waktu tunggu paket di jam sibuk secara signifikan. Rata-rata waktu tunggu paket pada jam sibuk semula adalah 30,029 menit kemudian menjadi 0,822 menit setelah dilakukan penambahan kurir pada jam sibuk. Hal ini menunjukkan penambahan sumber daya di waktu-waktu sibuk dapat membantu meningkatkan efisiensi dan mengurangi waktu tunggu yang mungkin dihadapi pelanggan.

b. Probabilitas keterlambatan paket menurun.

Probabilitas keterlambatan paket menurun dari yang awalnya 0,3883 menjadi 0,0873. Dengan menambah kurir pada jam sibuk, perusahaan berhasil menurunkan risiko keterlambatan pengiriman. Hal ini berpotensi meningkatkan kepuasan pelanggan.

- c. Biaya operasional yang lebih tinggi karena adanya kurir tambahan dapat diimbangi dengan keuntungan yang lebih tinggi.

Biaya operasional harian meningkat menjadi Rp900.000 karena adanya tambahan biaya dari kurir tambahan. Namun, total denda keterlambatan menurun lebih dari 70% dan menjadi Rp135.000 karena kurir tambahan mengurangi jumlah keterlambatan sehingga berkurang pula penalti yang harus ditanggung perusahaan. Dengan demikian, keuntungan bersih harian menjadi lebih tinggi, yaitu sebesar Rp2.055.000. Meskipun ada kenaikan dalam biaya operasional, peningkatan keuntungan bersih menunjukkan bahwa penambahan kurir pada jam sibuk dapat diimbangi dengan peningkatan pendapatan yang lebih tinggi. Strategi ini tidak hanya mempertahankan keuntungan tetapi juga memberikan layanan yang lebih andal.

### **Kesimpulan:**

Penambahan kurir pada jam sibuk secara signifikan menurunkan waktu tunggu dan probabilitas keterlambatan paket, meskipun meningkatkan biaya operasional. Namun, peningkatan keuntungan bersih menunjukkan bahwa strategi ini efektif. Ini adalah langkah yang baik bagi perusahaan untuk mempertahankan kualitas layanan tanpa mengorbankan keuntungan.

### **3. Skenario Alternatif 3:**

Simulasikan pengaruh pengurangan jam operasional menjadi 12 jam per hari (misalnya mulai dari 09.00 hingga 21.00). Apakah pengurangan ini dapat mengurangi biaya operasional tanpa mengurangi keuntungan yang signifikan? Perhatikan dampak pada probabilitas keterlambatan dan total keuntungan perusahaan.

```
== Hasil Simulasi dengan Jam Operasional 15 Jam ==
Rata-rata Waktu Tunggu Paket (menit): 20.470611412135924
Probabilitas Keterlambatan Paket: 0.3883495145631068
Biaya Operasional Harian (Rp): 750000
Total Denda Keterlambatan (Rp): 600000
Keuntungan Bersih Harian (Rp): 1740000

== Hasil Simulasi dengan Jam Operasional 12 Jam ==
Rata-rata Waktu Tunggu Paket (menit): 21.855389696273715
Probabilitas Keterlambatan Paket: 0.3780487804878049
Biaya Operasional Harian (Rp): 600000
Total Denda Keterlambatan (Rp): 465000
Keuntungan Bersih Harian (Rp): 1395000
```

- a. Rata-rata waktu tunggu paket

Pengurangan jam operasional dari 15 jam menjadi 12 jam hanya sedikit meningkatkan waktu tunggu paket, dari yang awalnya 20,47 menit menjadi 21,86 menit. Ini menunjukkan bahwa dampak dari pengurangan jam terhadap efisiensi waktu pengiriman relatif kecil.

b. Probabilitas keterlambatan paket

Meskipun terjadi pengurangan jam operasional, probabilitas keterlambatan paket justru sedikit menurun, dari yang awalnya 0,388 menjadi 0,387. Ini mungkin disebabkan oleh distribusi pengiriman yang lebih terkonsentrasi dalam periode yang lebih singkat, sehingga waktu pengiriman paket bisa lebih terfokus.

c. Biaya operasional harian

Pengurangan jam operasional jelas menurunkan biaya operasional harian, dari yang awalnya Rp750.000 menjadi Rp600.000. Penghematan ini memberikan keuntungan dari sisi efisiensi biaya karena biaya harian dapat dikurangi sebesar Rp150.000 dengan mengurangi jam kerja.

d. Total denda keterlambatan

Penurunan denda keterlambatan, dari yang awalnya Rp600.000 menjadi Rp465.000, menunjukkan bahwa pengurangan jam operasional tidak memperburuk ketepatan waktu pengiriman. Justru, denda keterlambatan dapat ditekan, yang berarti layanan tetap optimal meskipun dengan jam operasional yang lebih singkat.

e. Keuntungan bersih harian

Penurunan jam operasional memang sedikit menurunkan keuntungan bersih, dari yang awalnya Rp1.740.000 menjadi Rp1.395.000, namun penurunan ini tidak signifikan mengingat penghematan pada biaya operasional yang didapat. Keuntungan bersih tetap pada kisaran yang baik, sehingga pengurangan jam operasional bisa dipandang sebagai keputusan yang menguntungkan secara biaya.

**Kesimpulan:**

Pengurangan jam operasional dari 15 jam menjadi 12 jam per hari berhasil mengurangi biaya operasional tanpa pengurangan signifikan pada keuntungan bersih harian. Selain itu, probabilitas keterlambatan dan total denda keterlambatan juga mengalami penurunan. Strategi ini dapat dipertimbangkan perusahaan sebagai cara untuk mengoptimalkan biaya tanpa mengorbankan kualitas layanan dan keuntungan yang besar.

**BAB IV**

**KESIMPULAN**

**Rekomendasi Akhir**

Setelah dilakukan analisis pada masing-masing skenario, berikut beberapa rekomendasi yang dapat menjadi strategi terbaik bagi perusahaan untuk meminimalkan biaya operasional dan denda keterlambatan serta untuk memaksimalkan keuntungan bersih.

### **1. Penambahan Kurir pada Jam Sibuk**

Strategi ini sangat efektif dalam mengurangi waktu tunggu paket dan meningkatkan kualitas layanan. Meski biaya operasional meningkat, peningkatan keuntungan bersih menunjukkan bahwa langkah ini tetap menguntungkan. Selanjutnya dapat dilakukan penambahan kurir di jam sibuk, terutama pada area dengan volume pengiriman tinggi, untuk meningkatkan efisiensi dan kepuasan pelanggan.

### **2. Optimalisasi Pengelolaan Pengiriman pada Jam Malam**

Jumlah paket yang meningkat pada jam malam terbukti menguntungkan secara finansial, meskipun ada peningkatan probabilitas keterlambatan. Perusahaan dapat menetapkan standar layanan pada jam malam, misalnya dengan memberikan insentif bagi pelanggan yang memilih slot ini, sekaligus meningkatkan komunikasi terkait estimasi waktu pengiriman untuk mengurangi dampak keterlambatan.

### **3. Pengurangan Jam Operasional dari 15 Jam menjadi 12 Jam**

Pengurangan ini berhasil menekan biaya operasional tanpa pengaruh besar pada keuntungan bersih dan bahkan menurunkan denda keterlambatan. Perusahaan dapat menerapkan pengurangan jam operasional, terutama di area atau waktu dengan volume pengiriman rendah. Pastikan pengurangan ini tidak mengganggu proses logistik di jam sibuk.

## **BAB V**

### **Penutup**

#### **Kritik dan Saran**

- Terima kasih Kak udah jadi asprak di praktikum ini. Pengajaran Kakak sangat membuka pengetahuan tentang teori antrian. Praktikumnya udah cukup kak, cukup bikin mumet otak kami 🤪. Sekali lagi, makasih banyak Kak Dafi & Kak Gian. Sukses selalu, Kak!
- Sedikit saran Kak, mungkin buat ke depannya bisa dibagiin pembahasan dari tugas-tugas yang udah dikasih. Biar kami tidak hilang terlalu jauh 😊. Terima kasih banyak, Kak

#### **Daftar Pustaka**

Bose, S. K. (2002). *The G/M/1, G/G/1, G/G/m and M/G/m/m Queues*. Retrieved from [https://home.iitk.ac.in/~skb/qbook/Slide\\_Set\\_12.PDF](https://home.iitk.ac.in/~skb/qbook/Slide_Set_12.PDF)

Wibowo, B. S., & Suseno, A. (2022). Aplikasi metode waiting line pada pelayanan antrian pelanggan jasa ekspedisi (Studi Kasus: JNE Galuh Mas Karawang). *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, 8(10), 42-48. <https://doi.org/10.5281/zenodo.6785141>

Sanggala, E., Mulyati, E., & Putri, N. R. D. (2019). Analisis sistem antrian untuk menentukan jumlah operator angkut yang optimum dengan metode teori antrian untuk meminimalkan waktu keterlambatan pengiriman kantong surat dan barang prioritas di PT. Pos Indonesia (Persero) Kantor Mail Processing Center (MPC) Semarang 50400. *Jurnal Logistik Bisnis*, 9(2).

## **Lampiran**

Komputasi : [bit.ly/KomputasiLaprakPTAS](https://bit.ly/KomputasiLaprakPTAS)