

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pada berbagai bidang dalam kehidupan sehari-hari sering kali berhadapan dengan peristiwa yang terjadi secara acak dan berhubungan dengan waktu. Peristiwa seperti total klaim di bidang asuransi, total uang yang ditabung nasabah di bidang ekonomi, langganan kuota data atau pulsa di bidang telekomunikasi, pergantian atau perbaikan mesin yang rusak di bidang industri, waktu kedatangan transportasi umum merupakan peristiwa yang nilainya berubah secara acak seiring berjalannya waktu sehingga dapat dimodelkan dengan proses stokastik (Suyono, 2002; Haghghi dkk., 2024).

Hal yang menarik untuk diperhatikan dalam peristiwa yang terjadi adalah waktu antar kejadian yang dapat memberikan gambaran tentang pola atau karakteristik proses yang sedang diamati. Salah satu model yang sering digunakan untuk menggambarkan peristiwa semacam ini adalah proses Poisson, yaitu proses penghitungan di mana waktu antara setiap kejadian berturut-turut dianggap sebagai variabel acak eksponensial yang bersifat independen dan terdistribusi identik (Ross, 2019). Namun, dalam kenyataannya tidak semua proses mengikuti distribusi eksponensial, seperti ketika laju kedatangan atau parameternya tidak konstan (Ali dkk., 2020).

Generalisasi dari proses Poisson yang memungkinkan distribusi waktu antar kejadian mengikuti pola yang lebih fleksibel adalah proses *renewal* (Bas, 2019). Proses *renewal* adalah proses penghitungan yang tidak terbatas pada distribusi eksponensial, melainkan memiliki waktu antar kejadian yang independen dan mengikuti distribusi lain yang lebih umum (Ross, 2019; Kleiner, 2016). Proses *renewal* dapat melibatkan *reward* atau imbalan dari setiap siklus terjadinya *renewal* yang apabila dalam konteks negatif, *reward* ini disebut sebagai biaya (Vlasiou, 2014).

Proses *renewal reward* dapat diterapkan dalam teori antrean, sebagaimana ditunjukkan dalam penelitian Chasanah (2016) dan Raeis & Leon-Garcia (2021) yang membuktikan bahwa fungsi *reward* pada panjang antrean dapat digunakan

untuk meminimalkan total waktu tunggu. Hal ini menunjukkan bahwa proses *renewal reward* dapat membantu mengoptimalkan sistem yang memerlukan evaluasi hasil berdasarkan siklus-siklus tertentu.

Dalam konteks transportasi umum, waktu antar kedatangan dan keberangkatan bus di halte merupakan contoh nyata dari peristiwa yang dapat dimodelkan dengan proses *renewal* dan dapat diperluas pula menjadi proses *renewal reward*. Jumlah penumpang yang naik setiap kali bus tiba dapat dianggap sebagai *reward* yang diperoleh, di mana *reward* dihitung setiap selang waktu kedatangan bus yang dianggap sebagai waktu antar kejadian dalam proses *renewal*. Pendekatan ini dapat memberikan gambaran tentang efisiensi operasional sistem transportasi umum (Marfuah & Syarifah, 2015). Agar model ini akurat dan representatif, dibutuhkan pemahaman yang tepat mengenai distribusi waktu kedatangan, baik dari sisi armada maupun penumpang karena karakteristik distribusi tersebut akan memengaruhi estimasi *reward* secara langsung.

Pola kedatangan acak umumnya dimodelkan menggunakan distribusi poisson, dengan waktu antar kedatangan yang mengikuti distribusi eksponensial. Pendekatan ini banyak digunakan karena kesederhanaannya dalam merepresentasikan sistem pelayanan di mana pelanggan datang secara acak tanpa mengetahui jadwal pasti (Nindyaiswari dkk., 2015). Dalam konteks nyata seperti layanan bus, pola kedatangan penumpang sangat dipengaruhi oleh perilaku pengguna. Penumpang yang tidak membaca jadwal (*schedule non-readers*) datang secara acak dan sesuai dimodelkan dengan distribusi uniform, sementara penumpang yang membaca jadwal (*schedule readers*) cenderung datang lebih awal, mengikuti distribusi *maximum extreme value* (Chen dkk., 2025). Hal ini menunjukkan bahwa satu model distribusi tidak dapat diterapkan secara seragam untuk seluruh jenis pengguna atau sistem.

Kondisi ini mencerminkan salah satu tantangan dalam analisis proses *renewal reward*, yaitu ketika distribusi waktu antar kejadian dan *reward* tidak diketahui secara pasti. Misalnya, pada waktu layanan yang sering kali memiliki distribusi *heavy tailed*, menunjukkan variasi yang besar dengan banyak peristiwa ekstrem yang memerlukan waktu jauh lebih lama dari rata-rata (Whitt, 2000; Cayci

dkk., 2019). Kondisi ini menyulitkan pendekatan parametrik karena asumsi distribusi teoritis tidak lagi memadai untuk merepresentasikan data aktual.

Dalam kasus kedatangan bus, selang waktu antar kedatangan bus dan jumlah penumpang yang naik tidak selalu memiliki distribusi yang konsisten. Ketidakkonsistenan kedatangan bus ini muncul karena berbagai faktor, kondisi lalu lintas yang tidak menentu, kemacetan, gangguan teknis kendaraan, dan pola naik turun penumpang di setiap halte (Taniasi dkk., 2012; Siregar dkk., 2020). Terbatasnya infrastruktur jalan yang hanya mencakup sekitar 7% dari total wilayah Jakarta (BPS DKI Jakarta, 2020) juga menyebabkan jalanan dipenuhi kendaraan terutama pada jam sibuk. Sementara itu, jumlah dan waktu kedatangan penumpang di halte dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti pengetahuan tentang frekuensi operasional transportasi umum, jam keberangkatan, serta kebiasaan melakukan perjalanan secara rutin, di mana penumpang dengan kebiasaan tersebut cenderung lebih memahami jadwal atau pola kedatangan bus (Marco dkk., 2007).

Faktor-faktor tersebut menimbulkan ketidakteraturan dalam pola kedatangan bus dan penumpang, sehingga pendekatan parametrik menjadi kurang efektif karena asumsi distribusi teoritis tertentu dapat tidak terpenuhi. Pendekatan parametrik ini menjadi tidak efektif ketika distribusi empiris dari data menunjukkan pola distribusi yang kompleks atau tidak standar (Markovich & Krieger, 2006). Oleh karena itu, dibutuhkan pendekatan nonparametrik yang lebih fleksibel karena tidak memerlukan asumsi distribusi yang spesifik untuk waktu antar kejadian maupun *reward*, sehingga lebih mampu menangkap karakteristik alami dari data yang kompleks dan tidak standar. Misalnya pada sistem transportasi umum, di mana pola kedatangan dan perilaku penggunanya cenderung berubah dari waktu ke waktu.

Salah satu pendekatan nonparametrik yang umum digunakan adalah distribusi empirik, yaitu pendekatan berbasis data observasi tanpa asumsi bentuk distribusi tertentu (Spanos, 1999). Distribusi ini disebut nonparametrik karena tidak bergantung pada parameter populasi dan tidak digunakan untuk melakukan inferensi, melainkan hanya menggambarkan variasi yang tampak langsung dari data. Dengan kata lain, distribusi empirik menyajikan deskripsi atas apa yang benar-benar ada dalam data, tanpa melibatkan komponen inferensial (Wild, 2006).

Ketimbang memaksakan data mengikuti bentuk distribusi tertentu, pendekatan nonparametrik lebih cocok digunakan ketika bentuk distribusi data tidak diketahui atau tidak dapat dipastikan, terutama dalam kasus kompleks di mana asumsi parametrik dapat menyesatkan karena terlalu menyederhanakan kenyataan (Gao dkk., 2019). Model parametrik memiliki keunggulan dalam efisiensi jika asumsi distribusi benar, tetapi berisiko menghasilkan estimasi yang sangat bias jika asumsi tersebut tidak terpenuhi. Oleh karena itu, dalam situasi di mana informasi tentang bentuk distribusi sangat terbatas, pendekatan nonparametrik menawarkan fleksibilitas yang lebih tinggi dan keandalan yang lebih besar dalam merepresentasikan data nyata.

Pendekatan nonparametrik khususnya menggunakan distribusi empirik menjadi alternatif yang lebih andal untuk menggambarkan proses secara akurat dalam sistem yang dipengaruhi oleh banyak faktor acak atau ketidakpastian, seperti transportasi umum. Pada sistem semacam ini, prediksi pola kedatangan transportasi umum yang akurat menjadi sangat penting untuk dapat membantu operator mengurangi biaya operasional, menghindari penalti akibat keterlambatan, serta meningkatkan kepuasan pengguna (Sun dkk., 2021). Hal ini krusial mengingat menurunnya peran angkutan umum sering kali disebabkan oleh rendahnya kualitas pelayanan, seperti waktu tempuh yang cukup lama dan jumlah penumpang yang melebihi kapasitas angkut (Winandanto & Narendra, 2021). Sehingga dalam kasus ini, memprediksi mean dan variansi dari total *reward* setelah sejumlah siklus *renewal* menjadi penting untuk memprediksi seberapa sering transportasi umum harus dioperasikan atau berapa banyak penumpang yang dapat dilayani dalam periode waktu tertentu sehingga dapat meningkatkan kenyamanan dan kepuasan pengguna (Sun dkk., 2021).

Penelitian sebelumnya terkait sistem transportasi umum pola penumpang telah dilakukan oleh Marfuah & Syarifah (2015) yang menggunakan proses Poisson sebagai model kedatangan penumpang dalam antrean di halte busway untuk mengoptimalkan waktu pelayanan dan mengurangi panjang antrean penumpang. Penelitian lainnya oleh Sun dkk. (2021) menggunakan pendekatan stokastik dengan distribusi normal, log-normal, dan gamma untuk memodelkan ketidakpastian waktu kedatangan bus dalam kondisi urban yang padat dengan tujuan untuk

mengoptimalkan penugasan kendaraan, rute, dan jadwal, serta meminimalkan biaya total dan penalti akibat keterlambatan. Di sisi lain, Rahma & Setiadi (2014) menerapkan metode *Single* dan *Double Exponential Smoothing* berbasis *data mining* untuk memprediksi jumlah penumpang Bus Trans Jogja yang hasilnya digunakan untuk mendukung pengambilan keputusan terkait perencanaan tiket dan kebutuhan operasional. Selain itu, Suryowati dkk. (2018), menerapkan model antrean pada layanan PT Kereta Api Indonesia dan menemukan model yang mampu menurunkan waktu tunggu pelanggan secara signifikan.

Dalam konteks *renewal reward*, Suyono (2002) dan Nazhiifah (2024) telah melakukan pengaplikasian pada sistem lalu lintas. Suyono (2002) menggunakan waktu antar kedatangan mobil yang mengikuti distribusi gamma, eksponensial, dan empirik, dengan jumlah mobil yang dapat melintas dianggap sebagai *reward*. Sementara Nazhiifah (2024) memfokuskan pada jumlah orang yang menyeberang dengan aman sebagai *reward*, yang mengikuti distribusi gamma. Hasil dari penelitian keduanya membuktikan bahwa waktu antar kedatangan kendaraan dapat dimodelkan menggunakan proses *renewal reward*. Di bidang asuransi, Yao (2019) menerapkan *uncertain random renewal reward process* dengan waktu antar kedatangan mengikuti distribusi eksponensial dan *reward* berupa klaim yang mengikuti distribusi log-normal tidak pasti.

Penelitian yang telah disebutkan sebelumnya masih terbatas pada pendekatan parametrik, di mana distribusi waktu antar kedatangannya diasumsikan diketahui. Dalam penelitian ini, akan diterapkan proses *renewal reward* dengan pendekatan nonparametrik menggunakan distribusi empirik yang lebih fleksibel karena tidak memerlukan asumsi distribusi spesifik untuk waktu antar kedatangan maupun *reward*. Perhitungan mean dan variansi dari total *reward* secara analitik sering kali sulit, terutama ketika distribusi waktu antar kejadian atau *reward* tidak sederhana. Oleh karena itu, penelitian ini akan memanfaatkan transformasi Laplace dan inversnya untuk menurunkan mean dan variansi dari proses *renewal reward* tanpa memerlukan asumsi distribusi tertentu, sehingga lebih cocok untuk kondisi nyata yang variatif dan kompleks.

## 1.2 Perumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah bagaimana menghitung mean dan variansi dari proses *renewal reward* dengan pendekatan nonparametrik?

## 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Distribusi waktu antar kejadian dan *reward* tidak dimodelkan secara parametrik, tetapi menggunakan fungsi distribusi empirik dari sampel yang tidak mengasumsikan bentuk distribusi tertentu.
2. Penelitian ini mengambil contoh kasus penerapan pada data kedatangan bus Transjakarta nomor 4 di Halte Rawamangun, khusus untuk ke arah barat menuju halte berikutnya, yaitu Simpang Pramuka.
3. Pengambilan data pada penelitian ini dilakukan selama tiga jam masing-masing pada saat jam sepi dan sibuk.
4. Data penumpang naik yang digunakan dalam penelitian ini terbatas pada jumlah penumpang yang naik dari Halte Rawamangun pada waktu pengamatan.

## 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah menerapkan pendekatan nonparametrik untuk menghitung mean dan variansi dari proses *renewal reward* dengan menggunakan transformasi Laplace berdasarkan distribusi empirik sampel.

## 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah menambah pemahaman mengenai pendekatan nonparametrik dalam menghitung mean dan variansi dari proses *renewal reward*. Pendekatan ini diharapkan dapat menjadi alternatif yang lebih fleksibel dibandingkan metode parametrik, karena tidak memerlukan asumsi spesifik tentang distribusi waktu antar kejadian atau *reward*.