

Pengaruh Volume Pengiriman dan Return Rate COD terhadap Biaya Operasional Logistik pada Perusahaan Ekspedisi

Rifa Khairunnisa¹, Mumu Komaro², Saskia Kanisaa Puspanikan³

^{1,2,3} Departemen Teknik Logistik, Fakultas Pendidikan Teknologi dan Kejuruan, Universitas Pendidikan Indonesia

Jl. Dr. Setiabudi No. 229, Bandung, Jawa Barat, Indonesia 40154

Email: rifakhairunnisa@upi.edu¹, mumu@upi.edu², saskia.kanisaa@upi.edu³

ABSTRAK

Penelitian ini menganalisis sensitivitas biaya operasional *last-mile delivery* terhadap volume pengiriman dan *return rate* pada PT XYZ Ekspedisi di Bandung Timur, dengan proporsi transaksi *Cash on Delivery* (COD) mencapai 90%. Penelitian menggunakan 60 observasi data operasional harian selama November–Desember 2025 yang diperoleh dari catatan internal perusahaan. Pendekatan kuantitatif eksplanatori diterapkan dengan mengombinasikan *Fault Tree Analysis* (FTA) sebagai kerangka kualitatif untuk memetakan struktur penyebab kegagalan pengiriman dan regresi *log-linear* berganda dengan teknik *mean centering* sebagai instrumen kuantitatif utama. Model *log-linear* dipilih berdasarkan pertimbangan distribusi data yang mengandung *skewness* dan potensi heteroskedastisitas, serta relevansi pendekatan elastisitas dalam analisis sensitivitas biaya logistik. Secara fungsional, menghasilkan efek biaya yang bersifat *nonlinear* dan *multielatif* (*accelerating effect*), terutama dipengaruhi oleh *return rate*. Hasil estimasi menghasilkan $R^2 = 0.902$, dengan koefisien elastisitas volume $\beta_1 = 0.931$ (*near-unitary elasticity*) dan koefisien semi-elastisitas *return rate* $\beta_2 = 15.973$. Uji asumsi klasik menunjukkan bahwa model memenuhi seluruh kriteria BLUE. Temuan ini mengindikasikan bahwa, dalam konteks variabel yang diamati dan spesifikasi model yang digunakan, *return rate* memiliki pengaruh yang relatif lebih besar terhadap biaya operasional dibandingkan dengan volume pengiriman. Oleh karena itu, pengendalian *return rate* berpotensi menjadi salah satu fokus strategis dalam meningkatkan efisiensi biaya operasional pada sistem distribusi berbasis COD.

Kata kunci: Biaya; Distribusi; Pengiriman tahap akhir; Sistem bayar di tempat; Tingkat pengembalian paket

ABSTRACT

This study aims to analyze the sensitivity of last-mile delivery operational costs to shipment volume and return rate at PT XYZ Ekspedisi in East Bandung, where Cash on Delivery (COD) transactions account for approximately 90% of total orders. The dataset comprises 60 daily operational observations collected from internal company records for November–December 2025. An explanatory quantitative approach is employed, integrating Fault Tree Analysis (FTA) as a qualitative framework to map the causal structure of delivery failures, and a multiple log-linear regression model with mean-centering as the primary quantitative instrument. The log-linear specification is selected to accommodate data characteristics such as skewness and potential heteroskedasticity, while enabling elasticity-based interpretation in cost sensitivity analysis. The estimation results indicate a high level of model fit ($R^2 = 0.902$). Shipment volume has a positive and significant effect on operational costs, with an elasticity coefficient of $\beta_1 = 0.931$ (near-unitary elasticity), whereas the return rate exhibits a relatively larger effect with a semi-elasticity coefficient of $\beta_2 = 15.973$. Classical assumption tests confirm that the model satisfies the Best Linear Unbiased Estimator (BLUE) criteria. These findings indicate that, within the scope of the observed variables and model specification, return rate has a relatively greater influence on operational costs compared to shipment volume. Therefore, managing return rate may represent a key strategic focus for improving cost efficiency in COD-based distribution systems.

Keywords: Cost; Distribution; Last-mile delivery; Cash on Delivery; Return rate

Pendahuluan

Pertumbuhan pesat perdagangan elektronik (*e-commerce*) secara global telah mendorong transformasi mendasar dalam sistem distribusi barang, khususnya pada segmen *last-mile delivery* yang menjadi titik akhir pertemuan antara rantai pasok dan konsumen. Dinamika ini turut mendorong ekspansi peran penyedia jasa logistik pihak ketiga *third-party logistics/3PL* yang kini menjadi tulang punggung distribusi B2C di berbagai negara berkembang, termasuk Indonesia yang mencatat pertumbuhan volume paket *e-commerce* secara konsisten dalam beberapa tahun terakhir [1].

Perusahaan jasa logistik pihak ketiga (*third-party logistics/3PL*) memegang peran strategis dalam sistem distribusi modern, khususnya pada tahap *last-mile delivery* yang menghubungkan pusat distribusi dengan konsumen akhir. Tahap ini diidentifikasi sebagai segmen paling kompleks dan mahal dalam rantai logistik karena melibatkan pengiriman berskala kecil,

penyebaran geografis yang luas, serta kebutuhan interaksi langsung antara kurir dan penerima [2], [3]. Kompleksitas tersebut menyebabkan biaya operasional sangat bergantung pada keberhasilan proses serah terima di titik tujuan, di mana kegagalan pengiriman secara langsung menghasilkan biaya yang tidak dapat dipulihkan [4]. Dalam hal ini, perusahaan ekspedisi sebagai penyedia layanan 3PL menghadapi ketidakpastian beban biaya yang menyebabkan biaya operasional tetap terjadi terlepas dari keberhasilan pengiriman, sehingga inefisiensi pada tahap serah terima langsung menurunkan pendapatan operasional perusahaan [5]. Kondisi ini diperparah oleh fakta bahwa aktivitas pengelolaan retur membutuhkan sumber daya tambahan yang bersifat tidak produktif, mulai dari kapasitas gudang transit hingga tenaga kurir yang harus melakukan perjalanan balik ke titik asal, sehingga setiap kegagalan pengiriman menciptakan beban biaya berlapis yang menggerus margin operasional secara signifikan [6].

Dalam praktik operasional, peningkatan volume pengiriman tidak selalu menghasilkan efisiensi biaya pada *last-mile delivery*. Berbeda dengan distribusi jarak jauh yang dapat memanfaatkan skala ekonomi, pengiriman pada tahap akhir cenderung terfragmentasi dan bergantung pada kondisi lapangan, sehingga peningkatan volume justru dapat meningkatkan kompleksitas operasional [7]. Selain itu, tingkat keberhasilan pengiriman pertama (*first-attempt delivery success*) menjadi faktor kunci dalam efisiensi biaya, karena kegagalan pengiriman akan memicu aktivitas tambahan berupa pengiriman ulang dan pengelolaan *reverse logistics* yang bersifat tidak produktif [8], [9]. Fenomena ini menegaskan bahwa kegagalan pengiriman merupakan salah satu sumber utama inefisiensi dalam sistem *last-mile delivery* [10].

Kompleksitas ini semakin meningkat pada sistem distribusi berbasis *Cash on Delivery* (COD), di mana proses pembayaran menjadi bagian dari aktivitas pengiriman. Dalam skema ini, kurir tidak hanya berfungsi sebagai pengantar barang, tetapi juga sebagai fasilitator transaksi di titik serah. Ketika penerima tidak tersedia atau tidak melakukan pembayaran, pengiriman dinyatakan gagal dan paket harus dikembalikan ke titik distribusi asal. Mekanisme ini meningkatkan ketidakpastian operasional dan memperbesar potensi kegagalan pengiriman yang tidak dapat diantisipasi sebelum proses berlangsung [11]. Dampaknya, setiap kegagalan tidak hanya menghasilkan biaya distribusi yang sia-sia, tetapi juga menciptakan beban tambahan melalui aktivitas *reverse logistics* yang memperbesar biaya operasional secara berlapis [10].

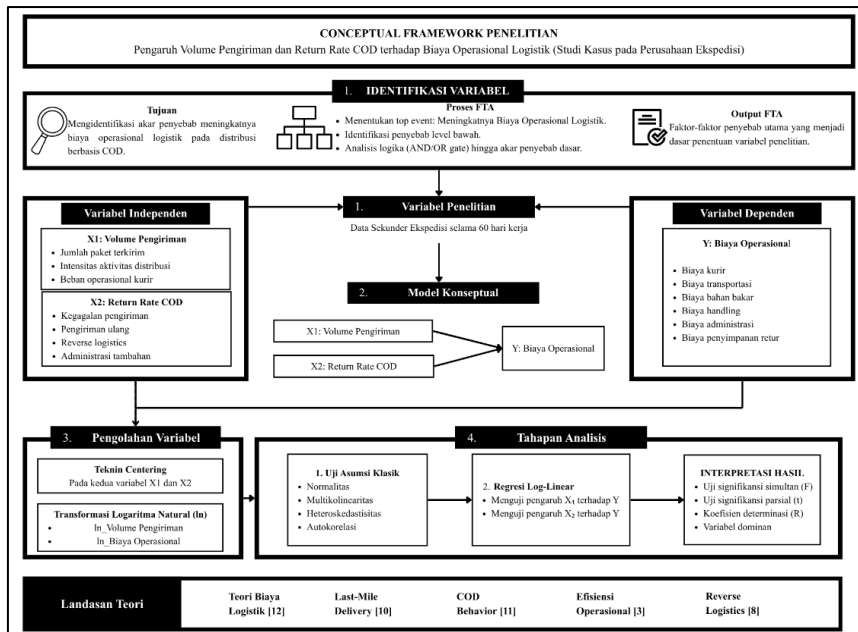
Kondisi tersebut tercermin dalam operasional PT XYZ Ekspedisi di wilayah Bandung Timur, dengan proporsi pengiriman COD mencapai hampir 90% dari total volume harian. Tingginya dominasi COD menyebabkan perusahaan sangat sensitif terhadap fluktuasi *return rate*, karena sebagian besar kegagalan pengiriman berasal dari ketidakterpenuhan transaksi di titik tujuan. Meskipun berbagai studi telah membahas efisiensi *last-mile delivery*, sebagian besar penelitian masih berfokus pada optimasi jaringan atau perspektif sistem secara agregat, sehingga hubungan kuantitatif antara *return rate* dan biaya operasional pada tingkat perusahaan 3PL masih belum banyak dikaji secara empiris.

Meskipun berbagai studi telah membahas efisiensi *last-mile delivery* dari sisi optimasi rute maupun manajemen armada [2], [10] Terdapat kesenjangan penelitian yang signifikan dalam kajian kuantitatif mengenai sensitivitas biaya operasional perusahaan 3PL terhadap dinamika *return rate* pada sistem berbasis COD. Studi terdahulu telah mengembangkan model estimasi dalam konteks crowdsourcing logistics, kajian tersebut masih bersifat statis dan berbasis skenario operasional, serta belum memodelkan hubungan elastisitas antara *return rate* dan biaya operasional pada level perusahaan [12]. Selain itu, penelitian terkait biaya COD yang ada cenderung mengkaji perilaku konsumen atau adopsi metode pembayaran [11], sedangkan studi biaya yang ada masih terbatas pada perilaku biaya asimetris secara umum dan belum dampak kumulatif kegagalan transaksi terhadap struktur biaya penyedia logistik [13]. Penelitian tentang regresi biaya logistik, jarang mengintegrasikan pendekatan struktural seperti *Fault Tree Analysis* (FTA) untuk menjelaskan mekanisme kausal di balik variabel prediktor yang digunakan.

Berdasarkan kesenjangan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh volume pengiriman dan *return rate* terhadap biaya operasional *last-mile delivery* berbasis COD. Penelitian ini mengintegrasikan *Fault Tree Analysis* (FTA) untuk mengidentifikasi struktur penyebab kegagalan pengiriman, serta model regresi *log-linier* untuk mengukur elastisitas biaya terhadap perubahan variabel operasional. Pendekatan ini diharapkan dapat memberikan kontribusi empiris dalam memahami sensitivitas biaya terhadap dinamika operasional di perusahaan ekspedisi.

Kerangka konseptual penelitian ini menggambarkan alur sistematis dalam menganalisis pengaruh volume pengiriman dan *return rate* COD terhadap biaya operasional logistik pada perusahaan ekspedisi. Penelitian diawali dengan identifikasi variabel melalui *Fault Tree Analysis* (FTA) untuk menentukan akar penyebab peningkatan biaya operasional, yang kemudian menjadi dasar penetapan variabel independen dan variabel dependen. Variabel independen terdiri dari volume pengiriman (X_1) dan *return rate* COD (X_2), sedangkan variabel dependen adalah biaya operasional logistik (Y). Selanjutnya, data diolah melalui teknik *centering* dan transformasi logaritma natural untuk meningkatkan stabilitas model, sebelum dianalisis menggunakan uji asumsi klasik dan regresi log-linier. Hasil analisis digunakan untuk menguji signifikansi pengaruh masing-masing variabel serta menentukan faktor dominan yang paling memengaruhi biaya operasional. Kerangka ini didukung oleh landasan teori biaya logistik, *last-mile delivery*, perilaku COD, efisiensi operasional, dan *reverse logistics*.

Dengan demikian, *framework* ini menggambarkan alur penelitian yang sistematis, mulai dari identifikasi masalah hingga pembentukan model konseptual untuk menguji pengaruh variabel terhadap biaya operasional logistik. Kerangka Konseptual terdapat pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Kerangka Konseptual

Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif eksplanatori, yaitu pendekatan penelitian yang bertujuan untuk menjelaskan hubungan kausal antarvariabel melalui analisis statistik terhadap data numerik. Dalam konteks penelitian logistik, pendekatan kuantitatif eksplanatori umumnya digunakan untuk menganalisis hubungan antara variabel operasional distribusi dan performa biaya. Hal ini relevan diterapkan dalam konteks penelitian operasional perusahaan logistik karena mampu mengkuantifikasi hubungan antar variabel distribusi secara empiris berbasis data untuk menganalisis biaya yang akurat [14].

Pemilihan model *log-linear* didasarkan pada pertimbangan bahwa model ini mampu menangkap hubungan nonlinear dalam bentuk elastisitas yang lebih relevan secara ekonomi dibandingkan dengan model linear biasa. Selain itu transformasi logaritma umum digunakan untuk mengurangi pengaruh distribusi data *skewed* serta membantu stabilisasi varians residual, sehingga dapat meningkatkan kualitas estimasi model [15]. Lebih lanjut, model *log-linear* memungkinkan menghasilkan koefisien elastisitas dan semi elastisitas, yang menunjukkan perubahan dalam bentuk persentase perubahan, dan memberikan interpretasi ekonomi yang lebih intuitif dibandingkan model linear biaya [16]. Model linear biasa, sebaliknya menghasilkan koefisien yang sulit diinterpretasikan secara komparatif antar variabel skala pengukuran berbeda (unit paket dengan rasio desimal), serta rentan menghasilkan residual heteroskedastisitas dan prediksi biaya negatif yang tidak bermakna secara praktis

Data dan Penelitian

Penelitian ini menggunakan data sekunder yang diperoleh dari catatan operasional internal PT XYZ Ekspedisi, yang beroperasi sebagai penyedia layanan logistik pihak ketiga (3PL) dalam distribusi *e-commerce*. Jumlah observasi sebanyak 60 dinilai telah memenuhi kecukupan dalam analisis regresi *log linear*. Dalam analisis regresi, ukuran sampel umumnya disarankan sekitar 10 observasi untuk setiap variabel independen guna memperoleh estimasi yang stabil [17]. Dengan dua variabel independen, jumlah observasi dalam penelitian dianggap memadai untuk menghasilkan estimasi yang andal.

Data yang digunakan merupakan data operasional harian selama 60 hari kerja berturut-turut pada periode November-Desember 2025, yang meliputi;

1. Jumlah paket COD yang dikirimkan per hari,
2. Jumlah paket yang mengalami retur,
3. Estimasi biaya operasional yang hilang akibat kegagalan pengiriman pada transaksi

Data tersebut disediakan oleh perusahaan dalam bentuk rekapitulasi historis operasional pengiriman. Pendekatan data sekunder dari catatan operasional internal juga umum digunakan dalam penelitian logistik karena mencerminkan kondisi operasional aktual yang tidak dapat diperoleh melalui survei atau eksperimen [18].

Definisi Operasional dan Pengukuran Variabel

Penelitian ini menggunakan tiga variabel utama yang merepresentasikan dampaknya terhadap biaya distribusi yaitu:

1. Volume (X_1), Variabel volume pengiriman merupakan jumlah total paket COD yang dikirimkan per hari. Volume pengiriman merepresentasikan kompleksitas operasional dan pembentukan biaya logistik [19].

2. *Return Rate* (X_2): variabel *return rate* menggambarkan tingkat kegagalan pengiriman, dihitung sebagai rasio antara jumlah paket yang mengalami retur terhadap total paket yang dikirimkan. Hal ini dinyatakan dalam bentuk proporsi desimal (0-1), sehingga interpretasi koefisien regresi merepresentasikan perubahan biaya akibat peningkatan satu-satuan proporsi *return rate*, dinyatakan dalam rumus :

$$RR = \frac{\text{Jumlah Paket Retur}}{\text{Total paket dikirimkan}} \quad (1)$$

Pengukuran dalam bentuk rasio merepresentasikan *failure rate* dalam layanan logistik, yang digunakan untuk mencerminkan proporsi kegagalan terhadap total aktivitas pengiriman serta tingkat reliabilitas sistem distribusi [20].

3. Biaya ongkir hilang (Y) merupakan estimasi total biaya operasional pengiriman yang tidak dapat direalisasikan akibat kegagalan pengiriman pada transaksi COD. Biaya ini mencerminkan akumulasi aktivitas distribusi, termasuk penggunaan kendaraan, tenaga kerja, dan penanganan logistik, sebagai komponen biaya *last-mile delivery* [21].

Variabel \ln -volume dan \ln -biaya ditransformasikan menggunakan logaritma natural untuk mengurangi *skewness* dan membantu stabilitas varians [15]. Dalam spesifikasi log-log, transformasi ini juga memungkinkan interpretasi koefisien sebagai elastisitas, yaitu persentase perubahan biaya akibat perubahan volume [22]. Sementara itu, variabel *return rate* (rr) digunakan dalam bentuk proporsi desimal tanpa transformasi logaritma, karena nilai yang mendekati nol dan kurang sesuai untuk nilai yang sangat kecil tidak sesuai untuk transformasi [23]. Untuk menguji kemungkinan efek moderasi antar variabel independen, ditambahkan variabel interaksi antara \ln -volume dan *return rate* dalam model regresi, yang dibentuk melalui perkalian antara variabel yang telah di-center.

Teknik Analisis Data

Data yang telah terkumpul dianalisis menggunakan perangkat lunak IBM SPSS *Statistics* versi 26. Tahapan analisis data dalam penelitian ini meliputi analisis deskriptif dan teknik *centering* variabel. Analisis deskriptif dilakukan untuk mengkaji karakteristik sebaran data operasional harian, sehingga dapat memberikan gambaran umum mengenai kondisi data yang digunakan dalam penelitian. Teknik *centering* tidak mengubah hubungan antar variabel, tetapi mempermudah interpretasi koefisien regresi serta dapat membantu mengurangi potensi multikolinearitas [24] .

$$\ln_{volume} = \ln_{volume_i} - \ln_{volum\bar{e}} \quad (2)$$

$$rr = rr_i - \bar{rr} \quad (3)$$

Uji Asumsi Klasik

Uji asumsi klasik dilakukan untuk memastikan model memenuhi asumsi bersifat *Best Linear Unbiased Estimator* (BLUE) [25]. Uji asumsi klasik meliputi:

1. Uji normalitas residual menggunakan uji Kolmogorov-Smirnov dan didukung oleh analisis grafik Normal P-Plot, dengan kriteria nilai signifikansi > 0.05 .
2. Uji Heteroskedastisitas. Menggunakan uji Glejser untuk mendeteksi apakah varians konstan pada seluruh rentang variabel independen.
3. Uji autokorelasi menggunakan statistik Durbin-Watson (DW), di mana nilai mendekati 2 menunjukkan tidak adanya autokorelasi.
4. Uji multikolinearitas menggunakan nilai *Tolerance* (> 0.10) dan *Variance Inflation Factor* ($VIF < 10$).

Uji Hipotesis dan Signifikansi

Pengujian hipotesis dilakukan menggunakan model *Log-Linear* (elastisitas) dengan dua variabel independen yang telah di-center, dirumuskan pada persamaan sebagai berikut.

$$\ln_{biaya} = \alpha + \beta_1 \cdot \ln_{volume} + \beta_2 \cdot rr + \varepsilon \quad (4)$$

Dimana adalah konstanta yang merepresentasikan nilai prediksi \ln -biaya pada kondisi rata-rata operasional;

1. β_1 adalah koefisien elastisitas biaya terhadap volume pengiriman;
2. β_2 adalah koefisien semi-elastisitas biaya terhadap *return rate*; dan ε adalah *error term*.

Parameter model diestimasi menggunakan *Ordinary Least Squares* (OLS). Metode ini banyak digunakan dalam analisis ekonometrika untuk mengestimasi hubungan antara variabel independen dan variabel dependen dalam model regresi linier.

Hasil Dan Pembahasan

Analisis Deskriptif

Analisis deskriptif menunjukkan bahwa data terdiri dari 60 observasi harian dengan variasi yang relatif terkendali pada seluruh periode. Nilai rata-rata \ln -biaya sebesar 16.568 dengan deviasi standar 0.185 mengindikasikan stabilitas biaya operasional. Variabel \ln -volume memiliki rata-rata mendekati nol (-0.005) akibat proses *centering*, yang bertujuan

meningkatkan interpretabilitas model. Sementara itu, *return rate* (rr) memiliki rata-rata 0.0001 dengan deviasi standar 0.014, menunjukkan tingkat kegagalan pengiriman yang relatif kecil secara rata-rata. Terdapat fluktuasi antarday yang menunjukkan dinamika operasional dalam proses distribusi.

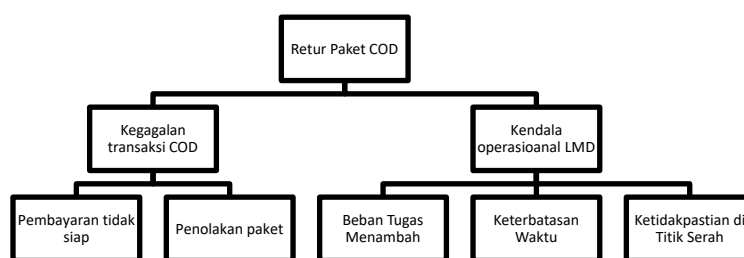
Table 1. Analisis deskriptif

Variabel	N	Min Statistic	Maximum Statistic	Mean		Std. Deviation Statistic
				Statistic	Std. Error	
ln_biaya	60	60	16.192	17.043	16.568	0.185
ln_volume	60	60	-0.345	0.342	-0.005	0.174
rr	60	60	-0.023	0.036	0.001	0.014
Valid N (listwise)	60					

Analisis Fault Tree Analysis (FTA)

Fault Tree Analysis (FTA) dilakukan sebagai analisis kualitatif untuk memetakan struktur kausal dari kejadian puncak (*top event*) berupa retur paket COD. Metode ini memungkinkan identifikasi sistematis terhadap kombinasi kejadian-kejadian dasar (*basic events*) yang secara logis dapat menyebabkan kegagalan pengiriman pertama (*failed first-attempt delivery*).

Gambar 1 menyajikan pohon kesalahan yang dibangun berdasarkan data operasional dan hasil wawancara internal PT XYZ.



Gambar 2. FTA analisis

Berdasarkan Gambar 1, kejadian puncak berupa retur paket COD bersumber dari satu kejadian di Level-1, yaitu kegagalan pengiriman pertama. Kejadian ini selanjutnya diuraikan menjadi dua kategori penyebab Level 2, yaitu (1) Kegagalan transaksi COD dan (2) Kendala Operasional LMD. Kegagalan Transaksi COD dipicu oleh dua sub-kejadian dasar. Pembayaran Tidak Siap (pembeli tidak memiliki uang tunai pada saat pengiriman tiba) dan Penolakan Paket (pembeli menolak menerima paket dengan berbagai alasan). Sementara itu, Kendala Operasional LMD dipicu oleh tiga sub-kejadian: Beban Tugas Menambah (kurir menanggung beban pengiriman yang melebihi kapasitas optimal), Keterbatasan Waktu (keterbatasan rentang waktu pengiriman harian), dan Ketidakpastian di Titik Serah (penerima tidak berada di lokasi tujuan pada saat pengiriman).

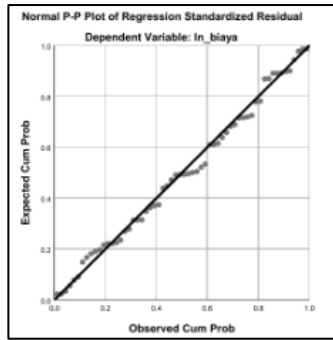
Struktur FTA ini menunjukkan bahwa kegagalan pengiriman COD tidak bersifat tunggal, melainkan hasil interaksi antara faktor sisi pembeli dan faktor operasional kurir. Secara agregat temuan ini dikonversi ke dalam variabel *return rate* yang digunakan dalam model regresi, sehingga FTA berfungsi sebagai dasar konseptual dalam pemilihan variabel kuantitatif. Variabel penelitian yang telah dikonstruksi diuji melalui uji asumsi klasik guna memastikan kelayakan model log-regresi, dengan pengujian disajikan pada tabel berikut,

Analisis Uji Asumsi Klasik

Table 2. Hasil keseluruhan uji asumsi klasik

Komponen	Indikator	Nilai	Kriteria	Kesimpulan
Normalitas	K-S Sig. = 0.200	—	> 0.05	Residual berdistribusi normal
Heteroskedastisitas	Glejser Sig. > 0.597	—	> .05	Homoskedastik
Autokorelasi	DW = 2.101	—	1 < DW < 3	Bebas autokorelasi
Multikolinearitas	VIF = 1.623	—	VIF < 10	Tidak ada multikolinearitas

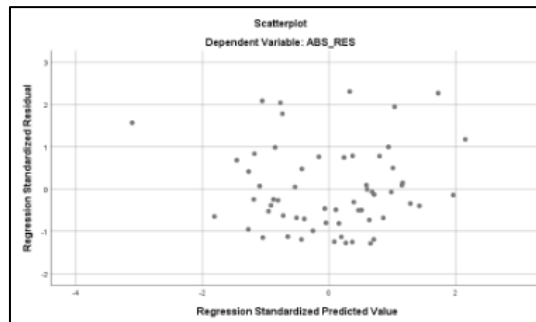
1. Uji Normalitas Residual, pengujian normalitas residual melalui grafik Normal P-P Plot menunjukkan bahwa terdapat sedikit penyimpangan titik pada rentang 0.4–0.6, yang mengindikasikan adanya deviasi kecil pada bagian tengah distribusi. Namun demikian, secara keseluruhan pola titik masih mengikuti garis diagonal, sehingga tidak menunjukkan pelanggaran yang serius terhadap asumsi normalitas. Temuan ini juga diperkuat oleh hasil uji Kolmogorov–Smirnov dengan nilai signifikansi di atas 0.05, yang mengonfirmasi bahwa residual model berdistribusi normal.



Gambar 3. P-plot

2. Uji Heteroskedastisitas. nilai signifikan seluruh variabel independen lebih besar dari 0,05, sehingga tidak terdapat gejala heteroskedastisitas.
3. Uji Autokorelasi, menunjukkan angka 2.101. Nilai yang mendekati 2 ini mengindikasikan bahwa tidak terdapat autokorelasi pada residual model.
4. Uji Multikolinearitas, Nilai Tolerance untuk variabel ln_volume dan rr adalah 0.616 (> 0.10) dengan VIF sebesar 1.623 (<10) menunjukkan bahwa tidak terdapat masalah multikolinieritas antar variabel independen dalam model.

Analisis visual melalui *scatterplot* menunjukkan titik-titik data menyebar secara di sekitar garis nol tanpa membentuk pola tertentu membentuk pola tertentu. Hal ini menandakan bahwa varians residual bersifat konstan.



Gambar 4. Scatter plot

Gambar 3.

Analisis Model Regresi

Hasil estimasi model log-linear menggunakan OLS terhadap 60 observasi harian pada Tabel Gambar 5, Gambar 6, dan Gambar 7.

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	.950 ^a	.902	.899	.058901242	2.101

Gambar 5. Model summary

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	1.823	2	.912	262.744	.000 ^b
	Residual	.198	57	.003		
	Total	2.021	59			

Gambar 6. Anova

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	16.556	.008		2169.841	.000
	ln_volume	.931	.056	.874	16.554	.000
	rr	15.973	.704	1.198	22.703	.000

Gambar 7. Regresi log-linier

Koefisien Determinasi (R^2). Berdasarkan Gambar 5 menghasilkan nilai $R = 0.950$ dan $R^2 = 0.902$ dengan $Adjusted R^2 = 0.899$. Nilai menunjukkan bahwa model log-linier dengan dua variabel independen mampu menjelaskan sebesar 90.2 %

variasi total \ln_total biaya harian PT XYZ Ekspedisi. Sementara itu, variasi sisanya sebesar 9,8% dijelaskan oleh faktor lain di luar model.

Uji Simultan (Uji F), Berdasarkan Gambar 6. $F_{hitung} = 262.744$ dengan nilai $Sig. = 0.000 < 0.05$. Nilai F_{tabel} pada $df = (2; 57)$ dan $\alpha = 0.05$ adalah 3.16. Karena $F_{hitung} = 262.744 > F_{tabel} = 3.16$ dan $Sig. = 0,000 < 0.05$, maka H_a diterima. Secara simultan, \ln_volume dan rr berpengaruh signifikan terhadap \ln_biaya pada PT XYZ Ekspedisi.

Berdasarkan hasil estimasi pada table, persamaan model log-linier yang diperoleh adalah:

$$\ln_{biaya} = 16.556 + (0.931 \cdot \ln_{volume}) + (15.973 \cdot rr) + \varepsilon \quad (5)$$

Tabel 3. Hasil interaksi Variabel

Variabel	Koefisien (B)	Sig.
\ln_volume	0.930	0.000
rr	15.954	0.000
$\ln_volume \times rr$	3.639	0.250

Untuk menguji kemungkinan efek moderasi, variabel interaksi antara \ln_volume dan $return\ rate$ ditambahkan ke dalam model regresi. Hasil estimasi menunjukkan bahwa variabel interaksi tidak signifikan secara statistik ($\beta_3 = 3.639$; $p = 0.250 > 0.05$). Hal ini mengindikasikan bahwa tidak terdapat efek interaksi antara volume pengiriman dan $return\ rate$ terhadap biaya operasional. Dengan demikian, pengaruh kedua variabel bersifat independen (*additive*), sehingga model tanpa interaksi dinilai lebih representatif.

Pengaruh Volume Pengiriman terhadap Biaya Operasional. Koefisien $\beta_1 = 0.931$ ($t = 16.554$; $Sig. = 0.000$) menunjukkan bahwa volume berpengaruh positif dan signifikan terhadap biaya operasional. Karena model menggunakan bentuk log-log, koefisien β_1 dapat diinterpretasikan sebagai elastisitas. Hal ini berarti bahwa setiap peningkatan volume pengiriman sebesar 1% akan meningkatkan biaya operasional sekitar 0,931% dengan asumsi $return\ rate$ tetap konstan.

Nilai elastisitas ini mendekati 1 (*near unitary elasticity*), yang berarti bahwa pertumbuhan volume pengiriman hampir proporsional meningkatkan beban biaya operasional. Temuan ini konsisten dengan literatur yang menyatakan bahwa ekspansi volume pengiriman *last-mile* secara langsung mengakumulasi biaya kendaraan, tenaga kerja, dan penanganan logistik, sebagai komponen biaya *last-mile delivery* [21], khususnya pada sistem COD di mana setiap paket membutuhkan konfirmasi pembayaran di titik tujuan.

Pengaruh Return Rate terhadap Biaya Operasional. Koefisien $\beta_2 = 15.973$ ($t = 22.703$; $Sig. = 0.000$) menunjukkan bahwa $return\ rate$ (rr) berpengaruh positif dan signifikan terhadap biaya operasional, menunjukkan pengaruh yang relatif lebih besar dibandingkan dengan volume pengiriman dalam spesifikasi model empiris yang diestimasi. Dalam interpretasi semi-elastisitas, setiap kenaikan $return\ rate$ sebesar 1 poin persentase (0.01 dalam skala desimal) akan meningkatkan biaya operasional sebesar 15.97%.

Temuan ini konsisten dengan literatur *reverse logistics* yang menyatakan bahwa kegagalan pengiriman tidak hanya menghilangkan pendapatan distribusi yang telah dikeluarkan, tetapi juga memicu serangkaian biaya tambahan yang bersifat berlapis, biaya pengembalian, biaya penyimpanan, dan penanganan, yang secara keseluruhan meningkatkan beban biaya [26]. Hal ini mengidentifikasi bahwa biaya retur produk dalam rantai distribusi B2C memiliki kontribusi signifikan terhadap total biaya operasional, karena melibatkan proses penanganan tambahan yang kompleks [8]. Penelitian ini memperkuat temuan tersebut dengan menunjukkan bahwa pada sistem COD, efek pengganda biaya ini bahkan lebih besar karena setiap retur juga berarti kehilangan pendapatan transaksi yang seharusnya diterima kurir di titik serah.

Dari perspektif teori logistik, dominasi pengaruh $return\ rate$ ($\beta_2 = 15,973$) dibandingkan dengan volume ($\beta_1 = 0,931$) dapat dijelaskan melalui konsep biaya variabel asimetris (*asymmetric variable cost*). Volume pengiriman yang meningkat mengakumulasi biaya secara proporsional dan dapat diprediksi (*near-unitary elasticity*), sedangkan $return\ rate$ mengakumulasi biaya secara non-proporsional karena setiap satu unit kegagalan memicu berbagai aktivitas logistik dan *reverse logistics* secara simultan, seperti transportasi penanganan, serta pengelolaan retur, yang secara keseluruhan meningkatkan beban biaya operasional[27]. Hal ini sejalan dengan konsep *Total Cost of Logistics* yang menunjukkan bahwa biaya dalam sistem distribusi tidak bersifat linier, melainkan dipengaruhi oleh interaksi berbagai aktivitas logistik seperti transportasi, inventori, dan penanganan, sehingga kegagalan dalam distribusi dapat memicu aktivitas tambahan yang meningkatkan biaya secara tidak proporsional atau bersifat *multiplier* [18], [28].

Hasil ini juga memberikan adanya perbedaan antara volume pengiriman dan $return\ rate$ terhadap biaya operasional dalam sistem COD. Berbeda dengan asumsi umum bahwa peningkatan volume merupakan strategi utama dalam meningkatkan kinerja operasional, temuan penelitian ini memberikan gambaran bahwa secara numerik, dalam model yang diestimasi, koefisien $return\ rate$ (15.973) lebih besar dibandingkan koefisien volume (0.931), yang mengindikasikan perbedaan sensitivitas biaya terhadap kedua variabel tersebut

Simpulan

Penelitian ini berhasil mengestimasi sensitivitas biaya operasional *last-mile delivery* terhadap volume pengiriman dan *return rate* pada PT XYZ Ekspedisi menggunakan pendekatan komplementer, yaitu *Fault Tree Analysis* (FTA) dan regresi *log-linear* berganda. Model memiliki tingkat kesesuaian yang sangat baik ($R^2 = 0.902$; $Adjusted R^2 = 0.899$) dan memenuhi seluruh uji asumsi klasik BLUE. Hasil regresi memberikan dukungan empiris terhadap variabel penelitian: volume pengiriman berpengaruh positif dan signifikan dengan elastisitas $\beta_1 = 0.931$ (near-unitary), mengindikasikan kenaikan biaya yang hampir proporsional terhadap peningkatan volume, dan *return rate* berpengaruh positif dan signifikan dengan semi-elastisitas $\beta_2 = 15.973$, yang berarti setiap kenaikan 1 poin persentase *return rate* meningkatkan biaya operasional sebesar 15.97%. Kontribusi utama penelitian ini terletak pada pengisian kesenjangan empiris mengenai kuantifikasi elastisitas biaya terhadap *return rate* pada perusahaan 3PL berbasis COD, yang berpotensi direplikasi untuk analisis biaya logistik serupa.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pengendalian *return rate* berpotensi menjadi salah satu strategi utama dalam meningkatkan efisiensi biaya operasional. Secara indikatif, perbedaan koefisien menunjukkan bahwa pengendalian *return rate* berpotensi memberikan dampak efisiensi yang lebih besar dibandingkan peningkatan volume, dalam konteks model yang digunakan.

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diakui secara terbuka. Pertama, data bersumber dari satu cabang operasional PT XYZ Ekspedisi, sehingga hasilnya tidak dapat digeneralisasi secara langsung ke perusahaan atau wilayah lain dengan karakteristik yang berbeda. Kedua, estimasi biaya operasional yang hilang merupakan estimasi internal perusahaan yang mungkin tidak mencakup seluruh komponen biaya tersembunyi seperti *opportunity cost* kapasitas kurir. Ketiga, periode observasi 60 hari mungkin tidak menangkap variasi musiman yang lebih panjang seperti lonjakan volume saat Harbolnas atau hari raya. Keempat, model tidak mempertimbangkan variabel operasional lain seperti jarak pengiriman, kepadatan wilayah, dan efisiensi rute, yang secara potensial juga memengaruhi biaya operasional.

Penelitian selanjutnya disarankan untuk: (1) mempertimbangkan variabel mediasi seperti kapasitas armada dan zona pengiriman yang dapat memoderasi hubungan antara *return rate* dan biaya; (2) memperluas cakupan data lintas cabang operasional dan lintas perusahaan untuk meningkatkan generalisabilitas; (3) mengkaji efek nonlinier atau *threshold* pada *return rate* yang mungkin mengubah pola elastisitas pada tingkat kegagalan yang sangat tinggi; dan (4) mengintegrasikan analisis probabilitas ke dalam FTA untuk memperkuat jembatan kualitatif-kuantitatif.

Daftar Pustaka

- [1] M. Akhtar, "Logistics services outsourcing decision making: a literature review and research agenda," *International Journal of Production Management and Engineering*, vol. 11, no. 1 SE-Papers, pp. 73–88, Jan. 2023, doi: 10.4995/ijpme.2023.18441.
- [2] M. Viu-Roig and E. J. Alvarez-Palau, "The Impact of E-Commerce-Related Last-Mile Logistics on Cities: A Systematic Literature Review," 2020. doi: 10.3390/su12166492.
- [3] D. Correia, C. Vagos, J. L. Marques, and L. Teixeira, "Fulfilment of last-mile urban logistics for sustainable and inclusive smart cities: a case study conducted in Portugal," *International Journal of Logistics Research and Applications*, vol. 27, no. 6, pp. 931–958, Jun. 2024, doi: 10.1080/13675567.2022.2130211.
- [4] A. Kawa and W. Zdrenka, "Conception of integrator in cross-border E-commerce," *LogForum*, vol. 12, pp. 63–73, Mar. 2016, doi: 10.17270/J.LOG.2016.1.6.
- [5] A. Lagorio, R. Pinto, and R. Golini, "Research in urban logistics: a systematic literature review," *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, vol. 46, no. 10, pp. 908–931, Nov. 2016, doi: 10.1108/IJPDLM-01-2016-0008.
- [6] F. Rasool, M. Greco, G. Morales-Alonso, and R. Carrasco-Gallego, "What is next? The effect of reverse logistics adoption on digitalization and inter-organizational collaboration," *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, vol. 53, no. 5–6, pp. 563–588, May 2023, doi: 10.1108/IJPDLM-06-2022-0173.
- [7] D. Sinha and D. Pandit, "Assessing the economic sustainability of gig work: A case of hyper-local food delivery workers in Kolkata, India," *Research in Transportation Economics*, vol. 100, p. 101335, 2023, doi: doi.org/10.1016/j.retrec.2023.101335.
- [8] R. Frei, L. Jack, and S. Brown, "Product returns: a growing problem for business, society and environment," *International Journal of Operations & Production Management*, vol. 40, no. 10, pp. 1613–1621, Jun. 2020, doi: 10.1108/IJOPM-02-2020-0083.
- [9] V. F. Yu, P. Jodiawan, and A. A. N. P. Redi, "Crowd-shipping problem with time windows, transshipment nodes, and delivery options," *Transp. Res. E Logist. Transp. Rev.*, vol. 157, p. 102545, 2022, doi: doi.org/10.1016/j.tre.2021.102545.
- [10] N. Boysen, S. Fedtke, and S. Schwerdfeger, "Last-mile delivery concepts: a survey from an operational research perspective," *OR Spectrum*, vol. 43, no. 1, pp. 1–58, 2021, doi: 10.1007/s00291-020-00607-8.

- [11] S. Anjum and J. Chai, "Drivers of cash-on-delivery method of payment in e-commerce shopping: evidence from Pakistan," *Sage Open*, vol. 10, no. 3, p. 2158244020917392, 2020.
- [12] A. Seghezzi, R. Mangiaracina, A. Tumino, and A. Perego, "'Pony express' crowdsourcing logistics for last-mile delivery in B2C e-commerce: an economic analysis," *International Journal of Logistics Research and Applications*, vol. 24, no. 5, pp. 456–472, 2021, doi: 10.1080/13675567.2020.1766428.
- [13] S. Cha and Y. Choi, "A Study on Asymmetrical Cost Behavior of Distribution Industry: Evidence from Korea," *Journal of Distribution Science*, vol. 18, no. 11, pp. 5–13, 2020, doi: 10.15722/JDS.18.11.202011.5.
- [14] R. Alves, C. A. Pereira, and R. da S. Lima, "Operational cost analysis for e-commerce deliveries using agent-based modeling and simulation," *Research in Transportation Economics*, vol. 101, p. 101348, 2023, doi: doi.org/10.1016/j.retrec.2023.101348.
- [15] F. Chellai, "Rethinking Scale in Applied Econometrics: Practical Impacts of Log Transformations on Model Performance," *Econometrics = Ekonometria*, vol. 29, no. 3, pp. 1–14, 2025, doi: 10.15611/EADA.2025.3.01.
- [16] J. M. Wooldridge, *Econometric Analysis of Cross Section and Panel Data*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press, 2002. [Online]. Available: <https://ipcid.org/evaluation/apoio/Wooldridge%20-%20Cross-section%20and%20Panel%20Data.pdf>
- [17] J. A. Seabrook, "Powering Nutrition Research: Practical Strategies for Sample Size in Multiple Regression," *Nutrients*, vol. 17, no. 16, p. 2668, Aug. 2025, doi: 10.3390/nu17162668.
- [18] S. Santoso, R. Nurhidayat, G. Mahmud, and A. M. Arijuddin, "Measuring the Total Logistics Costs at the Macro Level: A Study of Indonesia," *Logistics 2021, Vol. 5, Page 68*, vol. 5, no. 4, p. 68, Oct. 2021, doi: 10.3390/LOGISTICS5040068.
- [19] W. A. M. Mohammad, Y. Nazih Diab, A. Elomri, and C. Triki, "Innovative solutions in last mile delivery: concepts, practices, challenges, and future directions," *Supply Chain Forum: An International Journal*, vol. 24, no. 2, pp. 151–169, Apr. 2023, doi: 10.1080/16258312.2023.2173488.
- [20] S. Arora, V. Choudhary, and P. Kireyev, "Don't Fake It If You Can't Make It: Driver Misconduct in Last-Mile Delivery," *Manage. Sci.*, vol. 71, no. 5, pp. 3790–3808, Aug. 2024, doi: 10.1287/mnsc.2023.01829.
- [21] T. Ayu and Nahry, "Optimizing the Heterogeneous Fleet Vehicle Routing Problem with Time Window on Urban Last Mile Delivery," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 830, no. 1, p. 12100, 2021, doi: 10.1088/1755-1315/830/1/012100.
- [22] M. Lee, "Finding correct elasticities in log-linear and exponential models allowing heteroskedasticity," *Studies in Nonlinear Dynamics & Econometrics*, vol. 25, no. 3, pp. 81–91, Jun. 2021, doi: 10.1515/snde-2018-0099.
- [23] D. Benatia, C. Bellégo, and Louis Pape, "Dealing with Logs and Zeros in Regression Models," Mar. 2022, Accessed: Apr. 27, 2026. [Online]. Available: <https://arxiv.org/pdf/2203.11820>
- [24] O. L. Olvera Astivia and E. Kroc, "Centering in Multiple Regression Does Not Always Reduce Multicollinearity: How to Tell When Your Estimates Will Not Benefit From Centering," *Educ. Psychol. Meas.*, vol. 79, no. 5, pp. 813–826, Oct. 2019, doi: 10.1177/0013164418817801.
- [25] A. Mishra and P. Dutta, "Return management in e-commerce firms: A machine learning approach to predict product returns and examine variables influencing returns," *J. Clean. Prod.*, vol. 477, p. 143802, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.143802>.
- [26] P. R. Nanayakkara, M. M. Jayalath, A. Thibbotuwawa, and H. N. Perera, "A circular reverse logistics framework for handling e-commerce returns," *Cleaner Logistics and Supply Chain*, vol. 5, p. 100080, Dec. 2022, doi: 10.1016/j.clscn.2022.100080.
- [27] K. TÜRKOĞLU, "LOJİSTİK VE TERS LOJİSTİK MALİYETLERİ," *International Journal of Social and Humanities Sciences Research (JSHSR)*, vol. 9, no. 82, pp. 866–873, Apr. 2022, doi: 10.26450/JSHSR.3086.
- [28] E. Subiyanto, "Assessing Total Logistics Costs," *International Journal of Applied Logistics*, vol. 10, no. 2, pp. 45–61, Jul. 2020, doi: 10.4018/IJAL.2020070103.