

# Analisis Performansi *Transporter* Pada Pt Solusi Bangun Indonesia Menggunakan Metode *K-Mean Clustering*

1<sup>st</sup> Danu Tri Handoko

*Teknik Logistik*

*Telkom University*

Purwokerto, Indonesia

danutriduadelapan@student.telkomuniversity.ac.id

2<sup>nd</sup> Yulinda Uswatun Kasanah

*Teknik Logistik*

*Telkom University*

Purwokerto, Indonesia

yulindakasanah@telkomuniversity.ac.id

3<sup>rd</sup> Ratih Windu Arini

*Teknik Logistik*

*Telkom University*

Purwokerto, Indonesia

ratiharini@telkomuniversity.ac.id

**Abstrak** — Distribusi semen yang efisien dan aman merupakan aspek krusial dalam operasional PT Solusi Bangun Indonesia (SBI) sebagai produsen semen nasional. Dalam mendukung proses distribusi, perusahaan bekerja sama dengan mitra transporter eksternal yang performanya dinilai berdasarkan data dari sistem *In-Vehicle Monitoring System* (IVMS). Namun, evaluasi performa selama ini masih bersifat umum dan belum mampu memetakan pola risiko secara spesifik. Penelitian ini bertujuan untuk mengklasifikasikan transporter berdasarkan indikator performa seperti *harsh braking*, *harsh acceleration*, *hard cornering*, *over speed*, *rest time*, *driving time*, *KM tripped*, dan *total violation*. Metode *K-Means Clustering* digunakan untuk membentuk kelompok transporter, disertai analisis regresi linier guna melihat pengaruh perilaku mengemudi terhadap jarak tempuh. Hasil penelitian menunjukkan terbentuknya tiga klaster dengan karakteristik risiko yang berbeda, serta ditemukannya pengaruh signifikan antara pelanggaran berkendara terhadap kinerja transporter. Temuan ini dapat menjadi dasar evaluasi dan strategi pembinaan yang lebih adil dan proporsional bagi manajemen logistik PT SBI.

**Kata kunci**—*transporter*, *k-means clustering*, *ivms*, performa distribusi, evaluasi, regresi linier.

## I. PENDAHULUAN

Distribusi produk yang tepat waktu dan aman merupakan aspek vital dalam industri semen, khususnya dalam menjangkau wilayah pasar yang luas dan terpencar. PT Solusi Bangun Indonesia (SBI) sebagai produsen semen nasional mengandalkan mitra transporter eksternal (3PL) untuk mendukung kelancaran distribusi. Evaluasi performansi transporter telah dilakukan secara berkala dengan menggunakan data dari sistem *In-Vehicle Monitoring System* (IVMS), yang merekam berbagai parameter perilaku berkendara seperti *harsh braking*, *over speed*, dan *driving time*. Namun, evaluasi yang selama ini dilakukan masih bersifat umum dan belum mampu mengelompokkan transporter berdasarkan pola performa secara objektif (Anggi, 2023).

Penelitian sebelumnya banyak memanfaatkan pendekatan multi-kriteria seperti AHP atau SWOT dalam mengevaluasi kinerja 3PL (Yonathan, 2020), namun belum banyak yang mengkaji pola performa berbasis data kuantitatif menggunakan metode klasterisasi. Oleh karena itu, penelitian ini mengusulkan penerapan *K-Means Clustering* untuk mengelompokkan transporter ke dalam klaster risiko tinggi, sedang, dan rendah. Selain itu, regresi linier digunakan untuk menguji pengaruh perilaku berkendara terhadap jarak tempuh. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar strategi evaluasi dan pembinaan transporter yang lebih proporsional dan berbasis data.

## II. KAJIAN TEORI

### A. Performa Transporter

Performa transporter merupakan kemampuan perusahaan penyedia jasa angkut dalam memenuhi standar operasional pengiriman, baik dari sisi efisiensi, keamanan, maupun kepatuhan terhadap aturan distribusi. Evaluasi kinerja transporter mencakup indikator seperti waktu tempuh, pelanggaran lalu lintas, dan efisiensi bahan bakar. Dalam konteks penelitian ini, performa diukur berdasarkan variabel yang tercatat melalui sistem pemantauan kendaraan, seperti akselerasi mendadak, pengereman keras, menikung tajam, dan kecepatan berlebih.

### B. *In-Vehicle Monitoring System* (IVMS)

IVMS adalah sistem berbasis teknologi yang digunakan untuk memantau aktivitas kendaraan secara real time. Data yang dikumpulkan oleh IVMS mencakup parameter perilaku pengemudi seperti *harsh braking*, *harsh acceleration*, *hard cornering*, *over speed*, waktu istirahat, waktu mengemudi, serta total pelanggaran. Sistem ini membantu perusahaan dalam mengevaluasi tingkat risiko operasional dan efektivitas pengiriman logistik.

### C. K-Means Clustering

*K-Means Clustering* adalah algoritma *unsupervised learning* yang digunakan untuk mengelompokkan data ke dalam sejumlah klaster berdasarkan kesamaan karakteristik. Proses *clustering* dilakukan dengan menentukan pusat klaster (*centroid*), lalu mengelompokkan data berdasarkan kedekatan jarak *Euclidean*. Metode ini efektif dalam mengidentifikasi pola perilaku dalam kumpulan data besar dan sering digunakan untuk segmentasi dalam bidang logistik, pemasaran, maupun analisis risiko (Saputra, 2024).

### D. Regresi Linier

Regresi linier digunakan untuk menganalisis hubungan antara satu variabel dependen dan satu atau lebih variabel independen. Dalam konteks penelitian ini, regresi linier digunakan untuk mengetahui sejauh mana perilaku berkendara (seperti jumlah pelanggaran) mempengaruhi kinerja transporter dalam hal jarak tempuh. Model ini membantu mengidentifikasi variabel yang paling berpengaruh terhadap performa distribusi.

## III. METODE

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi performansi transporter eksternal yang bekerja sama dengan PT Solusi Bangun Indonesia (SBI) dengan menggunakan metode *K-Means Clustering*. Penelitian dilaksanakan di unit logistik PT SBI Cilacap selama bulan Juli 2024 dan bersifat kuantitatif deskriptif.

Data yang digunakan merupakan data primer yang diperoleh dari sistem *In-Vehicle Monitoring System* (IVMS), yaitu sistem pemantauan kendaraan berbasis teknologi yang digunakan oleh PT SBI untuk merekam perilaku pengemudi secara real-time. Parameter yang dianalisis dalam penelitian ini meliputi: *harsh braking*, *harsh acceleration*, *hard cornering*, *over speed*, *rest time*, *driving time*, *KM tripped*, dan *total violation*.

### A. Preprocessing Data

Pada tahap awal, data yang diperoleh dari IVMS dibersihkan dari nilai ekstrem atau anomali, lalu dinormalisasi agar semua variabel berada dalam skala yang sama. Hal ini penting untuk mencegah bias saat proses klasterisasi dilakukan.

### B. Exploratory Data Analysis (EDA)

EDA dilakukan untuk memahami pola, distribusi, dan korelasi antar variabel menggunakan teknik visualisasi seperti *boxplot* dan *heatmap* korelasi. Tahap ini juga membantu dalam mendeteksi nilai-nilai pencilan (*outlier*) yang dapat mempengaruhi hasil analisis.

### C. Elbow Method

Sebelum menerapkan algoritma *K-Means*, dilakukan penentuan jumlah klaster optimal menggunakan metode *Elbow*. Nilai optimal ditentukan dari titik tekuk (*elbow*) pada grafik *inertia*, yang menunjukkan saat penambahan klaster tidak lagi signifikan dalam mengurangi kesalahan.

### D. Penerapan K-Means Clustering

Setelah jumlah klaster optimal ditentukan, dilakukan proses klasterisasi menggunakan algoritma *K-Means*. Transporter akan dikelompokkan ke dalam beberapa klaster berdasarkan kesamaan karakteristik data perilaku berkendara yang telah dinormalisasi.

Perhitungan jarak antar data dengan *centroid* klaster menggunakan *Euclidean Distance*, dengan rumus:

$$d_{ij} = \sqrt{\sum_{j=1}^m (X_{ij} - C_{kj})^2} \quad (1)$$

di mana:

$d_{ij}$  = jarak antara data ke- $i$  dan *centroid* ke- $j$ ,

$x_{ik}$  = nilai variabel ke- $k$  dari data ke- $i$ ,

$c_{jk}$  = nilai variabel ke- $k$  dari *centroid* ke- $j$ .

### E. Analisis Regresi Linier

Setelah proses klasterisasi, dilakukan analisis regresi linier untuk menguji seberapa besar pengaruh variabel perilaku berkendara terhadap performa transporter yang diukur dari jarak tempuh (KM tripped). Model ini membantu mengetahui variabel mana yang paling signifikan terhadap performa logistik.

Seluruh proses analisis dilakukan dengan memanfaatkan perangkat lunak *Python* melalui platform *Google Colaboratory (Colab)* untuk analisis EDA dan klasterisasi *K-Means*, serta *SPSS* untuk uji regresi linier.

## IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Permasalahan utama yang melatarbelakangi penelitian ini berkaitan dengan kinerja transporter dalam proses distribusi produk pada PT Solusi Bangun Indonesia. Berdasarkan observasi awal dan rekapitulasi data pengiriman, ditemukan adanya variasi signifikan dalam capaian waktu tempuh, tingkat ketepatan waktu, serta jumlah ritase yang diselesaikan oleh masing-masing transporter. Kondisi tersebut menunjukkan adanya ketidakseimbangan performa antar mitra transporter yang berdampak pada inkonsistensi layanan distribusi.

Ketidaktercapaian standar kinerja tertentu, seperti keterlambatan pengiriman di atas toleransi waktu yang ditetapkan perusahaan, berpotensi menurunkan kepuasan pelanggan dan efisiensi logistik. Di sisi lain, belum adanya sistem klasifikasi atau evaluasi performa yang terstruktur terhadap transporter menyebabkan pihak manajemen kesulitan dalam melakukan pengambilan keputusan yang berbasis data. Oleh karena itu, diperlukan suatu pendekatan analitik yang dapat mengelompokkan transporter berdasarkan karakteristik performa aktual mereka, sehingga dapat menjadi dasar dalam evaluasi dan peningkatan kualitas layanan distribusi.

Sebelum melakukan evaluasi performa transporter eksternal di PT Solusi Bangun Indonesia (PT SBI), digunakan sejumlah indikator keselamatan dan operasional yang dihasilkan dari sistem IVMS (*In-Vehicle Monitoring System*). Indikator-indikator tersebut meliputi *Harsh Braking*, *Harsh Acceleration*, *Hard Cornering*, *Over Speed*, *Rest Time*, *Driving Time*, *KM Tripped*, serta *Total Violation*. Masing-masing indikator ini memberikan gambaran mengenai perilaku berkendara dan tingkat risiko dari setiap transporter. Data yang digunakan dalam analisis ini merupakan data operasional transporter selama bulan Januari 2024. Pemilihan bulan ini dilakukan untuk memperoleh representasi performa transporter dalam periode waktu tertentu yang cukup relevan dan dapat dianalisis secara komprehensif. Adapun proses pengambilan dilakukan pada bulan Juli 2024.

TABEL 1  
DATA IN VEHICLE MONITORING SYSTEM

| Kode Transporter | Nama Transporter               | Harsh Braking (kali) | Harsh Accel (kali) | Hard Cornering (kali) | Over Speed (kali) | Pelanggaran Rest Time (kali) | Pelanggaran Driving Time (kali) | Total Violation |
|------------------|--------------------------------|----------------------|--------------------|-----------------------|-------------------|------------------------------|---------------------------------|-----------------|
| A                | B                              | C                    | D                  | E                     | F                 | G                            | H                               | $J=C+D+E+F+G+H$ |
| 1                | PT Turangga Paramitra,         | 0                    | 2                  | 0                     | 0                 | 94                           | 0                               | 96              |
| 2                | PT Trio Ajaya Tunggal,         | 56                   | 1                  | 108                   | 0                 | 92                           | 0                               | 257             |
| 3                | PT Trikusuma Jaya Perkasa,     | 12                   | 14                 | 33                    | 4,36              | 987                          | 66                              | 1116            |
| 4                | Terus Jaya CV                  | 1                    | 1                  | 0                     | 4,09              | 7                            | 6                               | 19,09           |
| 5                | PT Surya Buana Sentosa,        | 51                   | 16                 | 25                    | 20,26             | 945                          | 60                              | 1117            |
| 6                | PT Subur Buana Raya            | 8                    | 23                 | 0                     | 16,66             | 627                          | 24                              | 698             |
| 7                | PT Sinar Indah Jaya Kencana PT | 0                    | 0                  | 0                     | 120,13            | 126                          | 18                              | 264,13          |
| 8                | Semen Indonesia Logistics      | 658                  | 504                | 638                   | 1618,01           | 17991                        | 2652                            | 24061           |
| ...              | ...                            | ...                  | ...                | ...                   | ...               | ...                          | ...                             | ...             |
| 21               | Buana Centra Swakarsa, PT      | 1                    | 6                  | 0                     | 26,16             | 467                          | 0                               | 500             |

Untuk memberikan pemahaman yang lebih jelas terhadap masing-masing variabel, dalam tabel 4.6 menyajikan deskripsi dari setiap variabel. Tabel ini mencantumkan nama dan penjelasan fungsional dari masing-masing variabel.

TABEL 2  
DESKRIPSI VARIABEL

| Nama Variabel          | Penjelasan                                                                                                                                                                      |
|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>HarshBraking</i>    | Jumlah kejadian pengereman mendadak oleh pengemudi. Biasanya mencerminkan gaya mengemudi agresif dan potensi risiko kecelakaan.                                                 |
| <i>HarshAccel</i>      | Jumlah kejadian akselerasi (percepatan) mendadak. Dapat menandakan pengemudi sering memacu kendaraan secara tiba-tiba.                                                          |
| <i>HardCornering</i>   | Jumlah kejadian membelok tajam. Mengindikasikan manuver berbahaya atau berkendara dengan kecepatan tinggi saat berbelok.                                                        |
| <i>OverSpeed</i>       | Jumlah kejadian melebihi batas kecepatan yang ditentukan. Faktor penting dalam keselamatan berkendara.                                                                          |
| <i>RestTime</i>        | Total waktu istirahat pengemudi yang melebihi waktu istirahat yang sudah ditentukan oleh pt sbi selama perjalanan. Bisa menunjukkan kepatuhan terhadap waktu istirahat standar. |
| <i>DrivingTime</i>     | Total waktu berkendara yang dilakukan oleh pengemudi dalam periode tertentu. Bisa digunakan untuk mengukur beban kerja.                                                         |
| <i>KMTripped</i>       | Jarak tempuh yang dicapai dalam kilometer selama perjalanan. Mewakili aktivitas operasional kendaraan.                                                                          |
| <i>Total Violation</i> | Total pelanggaran keselamatan yang dilakukan, bisa merupakan akumulasi dari beberapa variabel seperti <i>HarshBraking</i> , <i>OverSpeed</i> , dsb.                             |

#### A. CLEANING DATA

Dilakukan identifikasi dan penghapusan *outlier* dengan melihat nilai ekstrem tertinggi dan terendah dari tiap variabel. Nilai-nilai ini berpotensi memengaruhi hasil analisis jika tidak dihapus. Proses ini dilakukan menggunakan SPSS, dan hasil identifikasi *outlier* ditampilkan pada Tabel 2 dan 3.

TABEL 3  
NILAI EXTREM

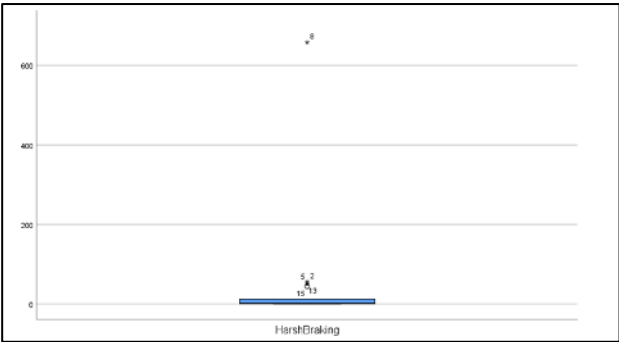
| Extreme Values       |         |                  |    |                |
|----------------------|---------|------------------|----|----------------|
|                      |         | Kode Transporter |    | Value (kali)   |
| <i>HarshBraking</i>  | Highest | 1                | 8  | 658            |
|                      |         | 2                | 2  | 56             |
|                      |         | 3                | 5  | 51             |
|                      |         | 4                | 13 | 50             |
|                      |         | 5                | 15 | 44             |
|                      | Lowest  | 1                | 20 | 0              |
|                      |         | 2                | 19 | 0              |
|                      |         | 3                | 18 | 0              |
|                      |         | 4                | 16 | 0              |
|                      |         | 5                | 14 | 0 <sup>a</sup> |
| <i>HarshAccel</i>    | Highest | 1                | 8  | 504            |
|                      |         | 2                | 12 | 36             |
|                      |         | 3                | 6  | 23             |
|                      |         | 4                | 18 | 21             |
|                      |         | 5                | 15 | 20             |
|                      | Lowest  | 1                | 20 | 0              |
|                      |         | 2                | 19 | 0              |
|                      |         | 3                | 14 | 0              |
|                      |         | 4                | 11 | 0              |
|                      |         | 5                | 9  | 0              |
| <i>HardCornering</i> | Highest | 1                | 8  | 638            |
|                      |         | 2                | 2  | 108            |
|                      |         | 3                | 15 | 47             |
|                      |         | 4                | 3  | 33             |
|                      |         | 5                | 5  | 25             |
|                      | Lowest  | 1                | 21 | 0              |
|                      |         | 2                | 20 | 0              |
|                      |         | 3                | 18 | 0              |
|                      |         | 4                | 14 | 0              |
|                      |         | 5                | 11 | 0              |

TABEL 4  
NILAI EXTREM (LANJUTAN)

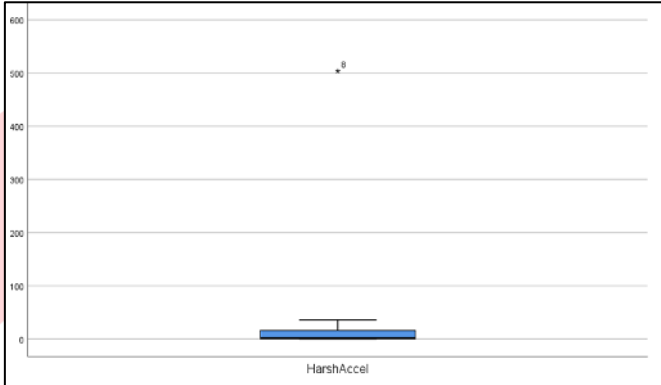
|                         |         |   |    |                |
|-------------------------|---------|---|----|----------------|
| OverSpeed               | Highest | 1 | 8  | 1618           |
|                         |         | 2 | 10 | 212            |
|                         |         | 3 | 19 | 199            |
|                         |         | 4 | 7  | 120            |
|                         |         | 5 | 15 | 120            |
|                         | Lowest  | 1 | 20 | 0              |
|                         |         | 2 | 14 | 0              |
|                         |         | 3 | 13 | 0              |
|                         |         | 4 | 11 | 0              |
|                         |         | 5 | 2  | 0 <sup>a</sup> |
| Pelanggaran RestTime    | Highest | 1 | 8  | 17991          |
|                         |         | 2 | 15 | 1751           |
|                         |         | 3 | 10 | 1124           |
|                         |         | 4 | 3  | 987            |
|                         |         | 5 | 5  | 945            |
|                         | Lowest  | 1 | 20 | 0              |
|                         |         | 2 | 11 | 0              |
|                         |         | 3 | 4  | 7              |
|                         |         | 4 | 16 | 32             |
|                         |         | 5 | 12 | 55             |
| Pelanggaran DrivingTime | Highest | 1 | 8  | 2652           |
|                         |         | 2 | 15 | 198            |
|                         |         | 3 | 19 | 192            |
|                         |         | 4 | 17 | 132            |
|                         |         | 5 | 10 | 120            |
|                         | Lowest  | 1 | 21 | 0              |
|                         |         | 2 | 20 | 0              |
|                         |         | 3 | 13 | 0              |
|                         |         | 4 | 11 | 0              |
|                         |         | 5 | 9  | 0              |
| KMTripped               | Highest | 1 | 8  | 553045         |
|                         |         | 2 | 15 | 55780          |
|                         |         | 3 | 10 | 44238          |
|                         |         | 4 | 5  | 39669          |
|                         |         | 5 | 3  | 30128          |
|                         | Lowest  | 1 | 20 | 14             |
|                         |         | 2 | 11 | 304            |
|                         |         | 3 | 16 | 843            |
|                         |         | 4 | 9  | 3904           |
|                         |         | 5 | 4  | 4080           |
| Total_Violation         | Highest | 1 | 8  | 24061          |
|                         |         | 2 | 15 | 2180           |
|                         |         | 3 | 10 | 1473           |
|                         |         | 4 | 5  | 1117           |
|                         |         | 5 | 3  | 1116           |
|                         | Lowest  | 1 | 20 | 0              |
|                         |         | 2 | 11 | 0              |
|                         |         | 3 | 4  | 19             |
|                         |         | 4 | 9  | 59             |
|                         |         | 5 | 16 | 64             |

B. *Boxplot* Variabel

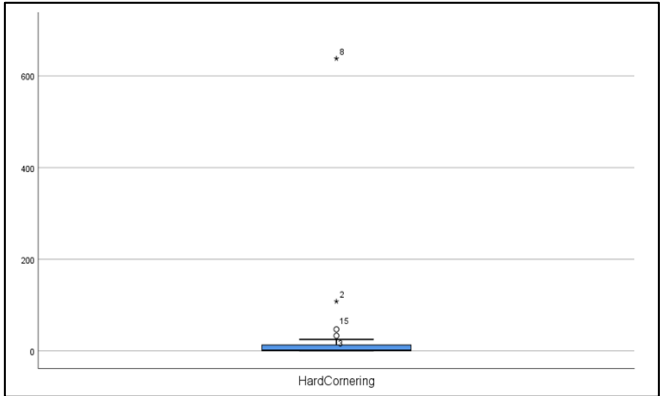
Setelah menentukan nilai ekstrem, langkah berikutnya adalah membuat *Boxplot* untuk setiap variabel, yaitu *Rest Time* dan *Total Violation*. *Boxplot* digunakan untuk melihat sebaran data, nilai tengah, serta mendeteksi *outlier* atau nilai pencilan.



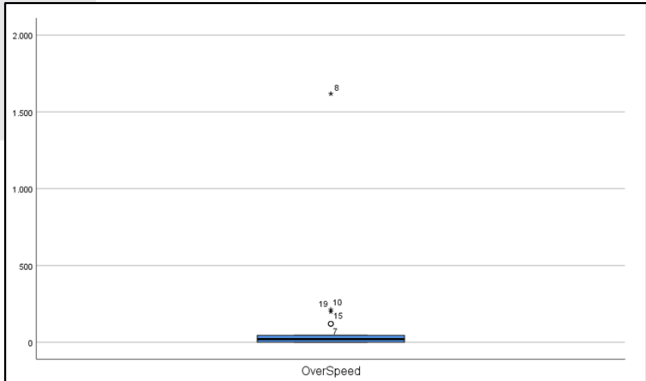
GAMBAR 1  
BOXPLOT HARSHBRAKING



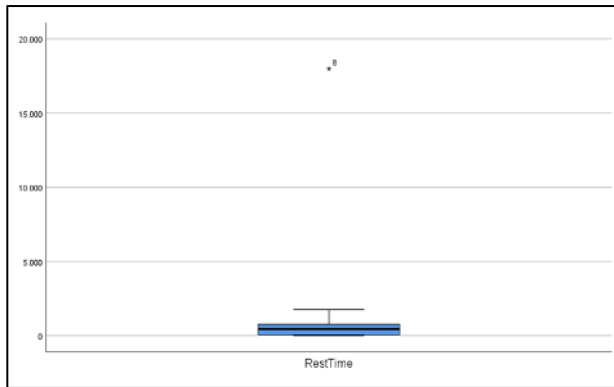
GAMBAR 2  
BOXPLOT HARSACCEL



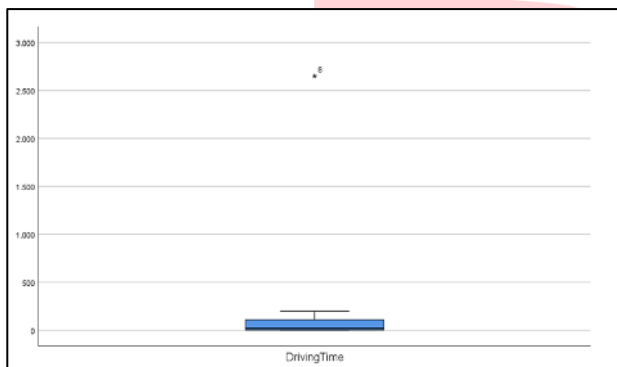
GAMBAR 3  
BOXPLOT HARDCORNERING



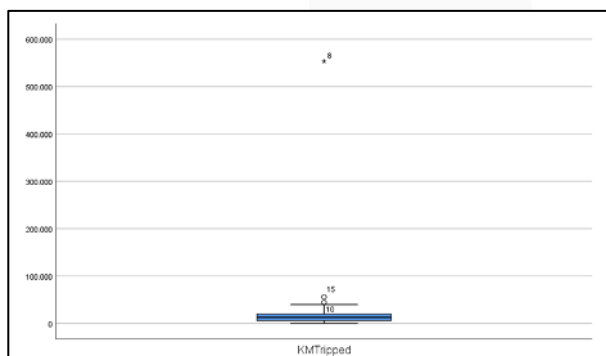
GAMBAR 4  
BOXPLOT OVERSPEED



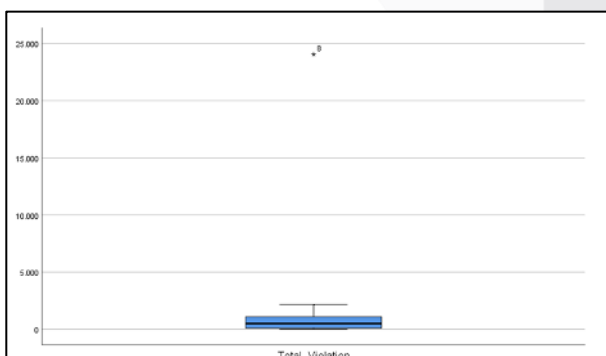
GAMBAR 5  
BOXPLOT RESTIME



GAMBAR 6  
BOXPLOT DRIVINGTIME



GAMBAR 7  
BOXPLOT KMTIPPED



GAMBAR 8  
BOXPLOT TOTAL VIOLATION

Analisis *boxplot* terhadap delapan variabel utama *HarshBraking*, *HarshAccel*, *HardCornering*, *OverSpeed*, *RestTime*, *DrivingTime*, *KMTripped*, dan *TotalViolation*

menunjukkan bahwa transporter ke-8 secara konsisten menjadi *outlier ekstrem*. Pada variabel *HarshBraking*, transporter ke-8 mencatat nilai jauh lebih tinggi dibanding yang lain, sedangkan mayoritas *transporter* berada dekat sumbu *horizontal* dengan nilai mendekati nol. Untuk *HarshAccel*, nilai transporter ke-8 mendekati 500, sementara sebagian besar transporter berada di bawah angka 50. Pada *HardCornering*, *outlier ekstrem* transporter ke-8 mencapai nilai di atas 600, jauh dari distribusi normal. Dalam variabel *OverSpeed*, transporter ke-8 kembali menunjukkan pelanggaran signifikan dengan nilai mendekati 2000, dibandingkan mayoritas transporter lain yang berada di rentang rendah. Sementara pada *RestTime*, nilai *outlier* mencapai hampir 18.000, jauh di atas distribusi *transporter* lain yang mayoritas di bawah 2.000. Untuk *DrivingTime*, transporter ke-8 memiliki durasi mengemudi lebih dari 2.500 satuan waktu, melampaui nilai tengah secara signifikan. Dari sisi jarak tempuh (*KMTripped*), transporter ini mencatat hampir 600.000, sementara *transporter* lain umumnya di bawah 100.000. Terakhir, *TotalViolation* transporter ke-8 mencapai hampir 25.000, jauh lebih tinggi dari nilai mayoritas *transporter* yang berada di bawah 3.000. Pola ini menunjukkan bahwa *transporter* ke-8 memiliki perilaku operasional yang menyimpang dan berisiko, serta menjadi kandidat evaluasi prioritas dalam perbaikan keselamatan dan efisiensi distribusi.

### C. Regresi Linear

Setelah data dibersihkan dari *outlier*, langkah selanjutnya adalah melakukan analisis regresi linier menggunakan *Google Collab*. Analisis ini bertujuan untuk mengidentifikasi hubungan antar variabel yang terdapat dalam data IVMS, Variabel yang ditetapkan sebagai variabel independen (X) yaitu *Rest Time*, sedangkan *Total Violation* sebagai variabel dependen (Y).

```
import pandas as pd
from sklearn.linear_model import LinearRegression

# Pilih X dan y (misalnya RestTime dan TotalViolation)
X = data[['RestTime']]
y = data['Total_Violation']

# Inisialisasi model dan fit
model = LinearRegression()
model.fit(X, y)

# Prediksi hasil
y_pred = model.predict(X)

# (Optional) Cetak hasil prediksi
print("Hasil prediksi regresi:")
print(y_pred)
```

GAMBAR 9  
KODE REGRESI LINEAR

```
Hasil prediksi regresi:
[ 145.28201355  142.86397386 1224.93673464  40.09728708 1174.15790117
  789.68959064  183.97064857  100.54827931 1390.57245332  31.63414817
  98.13023962  222.65928359  950.48922995 2148.62789579  70.3227832
  566.02091942  763.09115406  869.48490037  31.63414817  596.24641553]
```

GAMBAR 10  
HASIL REGRESI LINEAR

```
[ ] import pandas as pd
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from sklearn.linear_model import LinearRegression
# Cari pasangan fitur dengan korelasi regresi linear tertinggi
best_score = -np.inf
best_pair = (None, None)
for i in range(len(data_num.columns)):
    for j in range(i + 1, len(data_num.columns)):
        X = data_num.iloc[:, [i]].values
        y = data_num.iloc[:, [j]].values
        model = LinearRegression()
        model.fit(X, y)
        score = model.score(X, y)

        if abs(score) > best_score:
            best_score = abs(score)
            best_pair = (data_num.columns[i], data_num.columns[j])
feature1, feature2 = best_pair
print(f'Pasangan fitur terbaik: {feature1} vs {feature2}')
print(f'Nilai R2 score: {best_score:.4f}')
```

GAMBAR 11

KODE HUBUNGAN ANTAR VARIABEL

```
Pasangan fitur terbaik: RestTime vs Total_Violation
Nilai R2 score: 0.9796
```

GAMBAR 12

KORELASI REGRESI LINEAR TERTINGGI

Evaluasi hubungan antara variabel *RestTime* sebagai input dan *Total\_Violation* sebagai output. Visualisasi prediksi pada Gambar 10 menunjukkan bahwa beberapa transporter dengan prediksi memiliki tingkat pelanggaran yang tinggi, dengan estimasi mencapai 2.148,63 dan 1.390,57, sedangkan lainnya sangat rendah, seperti 31,63 dan 40,09. Hasil ini mengindikasikan adanya pola bahwa semakin rendah waktu istirahat transporter, semakin tinggi jumlah pelanggaran yang mungkin terjadi.

Pada Gambar 11, ditampilkan proses pencarian kombinasi variabel yang menghasilkan korelasi linier paling kuat berdasarkan nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ). Dari seluruh pasangan variabel yang diuji, kombinasi antara *RestTime* dan *Total\_Violation* menunjukkan performa terbaik, sebagaimana divisualisasikan pada Gambar 4.21. Nilai  $R^2 = 0,9796$  menjadi indikator bahwa sebanyak 97,96% variasi dalam *Total\_Violation* dapat dijelaskan oleh perubahan *RestTime*.

#### D. Exploratory Data Analysis (EDA)

EDA membantu menggali struktur dan karakteristik data secara visual dan statistik, melalui teknik seperti *heatmap* korelasi, histogram, dan distribusi nilai. Analisis ini juga berfungsi untuk memvalidasi temuan sebelumnya dan memberikan gambaran menyeluruh mengenai pola hubungan antar variabel.

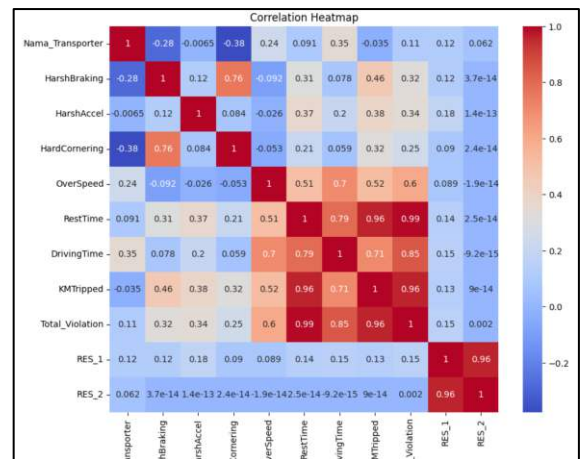
```
#EDA
import matplotlib.pyplot as plt
import seaborn as sns

# Korelasi antar variabel numerik
plt.figure(figsize=(10,8))
sns.heatmap(data_num.corr(), annot=True, cmap='coolwarm')
plt.title('Correlation Heatmap')
plt.show()

# Distribusi tiap fitur
data_num.hist(figsize=(12,10), bins=20)
plt.tight_layout()
plt.show()
```

GAMBAR 13

KODE UNTUK MENENTUKAN KORELASI EDA



GAMBAR 14

HASIL CORELATION HEATMAP

visualisasi *heatmap* korelasi yang ditampilkan pada Gambar 14 Visualisasi ini menggambarkan kekuatan dan arah hubungan *linear* antar variabel numerik menggunakan warna dan nilai koefisien korelasi *Pearson*. Hasil *heatmap* menunjukkan bahwa variabel *RestTime* memiliki korelasi sangat kuat dan positif terhadap *Total\_Violation* (0,99), *KMTripped* (0,96), dan *DrivingTime* (0,79), yang mengindikasikan bahwa semakin panjang waktu istirahat seorang *transporter*, cenderung diikuti dengan peningkatan jumlah pelanggaran, jarak tempuh, serta waktu mengemudi. Hal ini dapat merefleksikan pola operasional yang melelahkan dan berisiko tinggi. Di sisi lain, variabel *RestTime* juga menunjukkan korelasi sedang hingga rendah terhadap variabel *OverSpeed*, *HarshBraking*, dan *HarshAccel*, yang memperkuat hipotesis bahwa perilaku berkendara agresif turut memengaruhi kelelahan sehingga memicu kebutuhan istirahat yang lebih panjang.

#### E. Menentukan Jumlah Kluster

Metode ini bertujuan untuk mengevaluasi seberapa besar variasi dalam data yang dapat dijelaskan oleh masing-masing jumlah kluster. Dalam tahap ini, dilakukan iterasi nilai  $k$  dari 1 hingga 10, di mana untuk setiap  $k$  dilakukan pelatihan model *K-Means* dan pencatatan nilai *inertia* yang dihasilkan.

```
[ ] #METODE ELBOW
from sklearn.cluster import KMeans

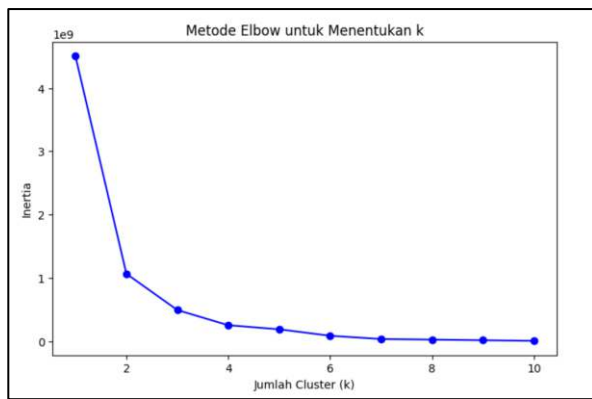
# Mencari inertia untuk jumlah cluster berbeda
inertia = []
K = range(1, 11)

for k in K:
    kmeans = KMeans(n_clusters=k, random_state=42)
    kmeans.fit(data_num)
    inertia.append(kmeans.inertia_)

# Plot elbow
plt.figure(figsize=(8,5))
plt.plot(K, inertia, 'bo-')
plt.xlabel('Jumlah Cluster (k)')
plt.ylabel('Inertia')
plt.title('Metode Elbow untuk Menentukan k')
plt.show()
```

GAMBAR 15

KODE ELBOW



GAMBAR 16  
HASIL *ELBOW*

#### F. Menentukan *KMeans*

Peneliti memilih delapan variabel yang mencerminkan aspek keselamatan dan efisiensi operasional, seperti *HarshBraking*, *HarshAccel*, *Harsh Cornering*, *OverSpeed*, *RestTime*, *DrivingTime*, dan *Total Violation*, guna mengelompokkan *transporter* berdasarkan tingkat risiko. Data kemudian dipra-proses melalui pembersihan dan normalisasi menggunakan *StandardScaler*, agar semua variabel berada pada skala yang sebanding.

#### 1. Menentukan Model *Kmeans*

```
[ ] kmeans = KMeans(n_clusters=3, random_state=42, n_init=10)
data_num['Cluster'] = kmeans.fit_predict(data_num)
```

GAMBAR 17  
PROSES PELATIHAN MODEL *K MEANS*

#### 2. Menentukan *Centroid*

```
prediksi = kmeans.fit_predict(X_scaled)
centroids = kmeans.cluster_centers_

array([[ -0.26756854, -0.03821225, -0.34518377,  0.03357698, -0.39353927,
        -0.82722063, -0.73027995, -0.73202777, -0.80765806, -0.43506462,
        -0.34312653, -0.84515425],
       [ -0.47027199,  0.82028966,  0.57201882,  0.63006208,  0.72679379,
        1.59628064,  0.9349444 ,  1.74819277,  1.55755054, -0.465539 ,
        -0.61096102,  0.56343617],
       [ 0.75946223, -0.48317269,  0.1939604 , -0.47600301,  0.17136959,
        0.31451396,  0.59383699,  0.05458444,  0.30772975,  1.03546702,
        0.9791849 ,  1.03296631]])
```

GAMBAR 18  
MENENTUKAN *CENTROID*

#### 3. Proses *Clustering* dengan algoritma *Kmeans*

```
[ ] kmeans.fit_predict(data_num)

array([2, 0, 0, 2, 1, 0, 2, 2, 1, 2, 2, 0, 0, 1, 2, 0, 0, 2, 0],
      dtype=int32)
```

GAMBAR 19  
KODE DAN HASIL *CLUSTERING* ALGORITMA *KMEANS*

#### 4. Visualisasi Hasil Kluster

```
import matplotlib.pyplot as plt
import seaborn as sns
from sklearn.cluster import KMeans

# Fitur hasil regresi
feature1 = 'RestTime' # Sebagai sumbu X
feature2 = 'Total_Violation' # Sebagai sumbu Y
# Inisialisasi KMeans dengan jumlah cluster lebih sedikit
kmeans = KMeans(n_clusters=3, random_state=42) # Ubah angka sesuai kebutuhan

# --- FIX START ---
# Drop non-numeric columns added after initial clustering before fitting KMeans
# KMeans requires numeric input
data_num_numeric = data_num.drop(columns=['Cluster', 'Cluster_Label', 'Strategi_Perbaikan'], errors='ignore')
kmeans.fit(data_num_numeric) # Fit KMeans using only numeric data
# --- FIX END ---

# Tambahkan hasil cluster ke data
data_num['Cluster'] = kmeans.labels_
```

GAMBAR 20 Kode visualisasasi

```
# Buat plot
plt.figure(figsize=(12, 8))
# Plot titik transporter berdasarkan dua fitur
sns.scatterplot(
    x=data_num[feature1],
    y=data_num[feature2],
    hue=data_num['Cluster'],
    palette='Set1',
    s=70
)

# Tambahkan nama transporter ke titik
# Loop hingga jumlah baris di data_num untuk menghindari IndexError
for i in range(data_num.shape[0]): # Changed range from data.shape[0] to data_num.shape[0]
    plt.text(
        data_num[feature1].iloc[i] + 0.02,
        data_num[feature2].iloc[i] + 0.02,
        data_num['Nama_Transporter'].iloc[i], # Changed to use Nama_Transporter from data_num
        fontsize=9
    )
```

GAMBAR 21  
KODE VISUALISASI (LANJUTAN)

```
# Plot centroid dari hasil clustering
# Centroids are based on the features used for fitting
centroids = kmeans.cluster_centers_

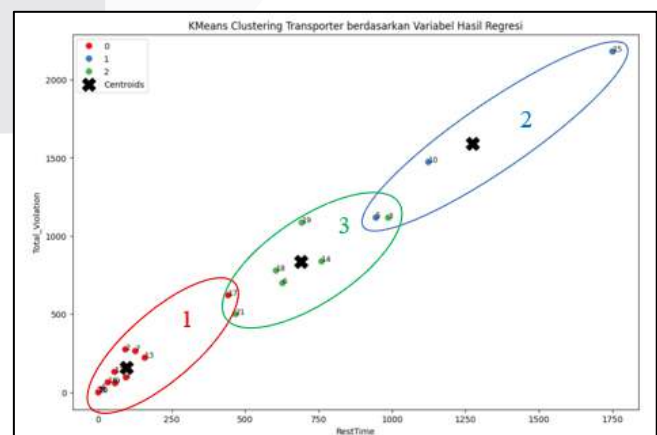
# Dapatkan indeks fitur dari data_num_numeric untuk mencocokkan centroid
try:
    idx_feature1 = data_num_numeric.columns.get_loc(feature1)
    idx_feature2 = data_num_numeric.columns.get_loc(feature2)
except KeyError:
    print(f"Error: Features '{feature1}' or '{feature2}' not found in the numeric data used for clustering.")
    # Handle this error as appropriate, e.g., skip plotting centroids

# Plot titik centroid
# Ensure that the features used for plotting centroids exist in the fitted centroids array
if feature1 in data_num_numeric.columns and feature2 in data_num_numeric.columns:
    plt.scatter(
        centroids[:, idx_feature1],
        centroids[:, idx_feature2],
        s=250, c='black', marker='x', label='Centroids'
    )
else:
    print("Skipping centroid plotting: Features used for plotting not found in fitted centroids.")
```

GAMBAR 22  
KODE VISUALISASI (LANJUTAN)

```
# Label dan judul plot
plt.xlabel(feature1)
plt.ylabel(feature2)
plt.title('KMeans Clustering Transporter berdasarkan Variabel Hasil Regresi')
plt.legend()
plt.show()
```

GAMBAR 23  
KODE VISUALISASI (LANJUTAN)



GAMBAR 24  
HASIL VISUALISASI

## 5. Hasil Klaster

TABEL 4

HASIL *CLUSTER*

| Cluster | Nama Transporter                | Nilai means |
|---------|---------------------------------|-------------|
| 1       | PT Turangga Paramitra           | 0.17        |
|         | PT Trio Ajaya Tunggal           | 0.79        |
|         | CV Terus Jaya                   | 0.19        |
|         | PT Sinar Indah Jaya Kencana     | 0.33        |
|         | PT Sarana Karya Cemerlang       | 0.19        |
|         | PT. MPX Logistics International | 0.21        |
|         | PT. Manggala Kencana Mukti      | 0.29        |
|         | PT. Kumala Logistics            | 0.30        |
|         | PT Mandiri Bangkit Jaya         | 0.19        |
|         | PT Escorindo Jasa Prima         | 0.22        |
| 2       | PT Samudra Jaya Pratama         | 0.18        |
|         | PT Multi Prima Usahatama        | 0.42        |
|         | PT Surya Buana Sentosa          | 0.45        |

TABEL 5

HASIL *CLUSTER* (LANJUTAN)

| 3       | PT Trikusuma Jaya Perkasa       | 0.33        |
|---------|---------------------------------|-------------|
|         | PT Subur Buana Raya             | 0.20        |
|         | PT Lintas Harapan Mandiri       | 0.22        |
|         | PT Makmur Jaya Berkas Bersama   | 0.21        |
|         | PT Lancar Jaya Perkasa          | 0.26        |
|         | PT Janti Sarana Material Beton  | 0.31        |
|         | PT Buana Centra Swakarsa        | 0.13        |
| Cluster | Nama Transporter                | Nilai means |
| 1       | PT Turangga Paramitra           | 0.17        |
|         | PT Trio Ajaya Tunggal           | 0.79        |
|         | CV Terus Jaya                   | 0.19        |
|         | PT Sinar Indah Jaya Kencana     | 0.33        |
|         | PT Sarana Karya Cemerlang       | 0.19        |
|         | PT. MPX Logistics International | 0.21        |
|         | PT. Manggala Kencana Mukti      | 0.29        |
|         | PT. Kumala Logistics            | 0.30        |
|         | PT Mandiri Bangkit Jaya         | 0.19        |
|         | PT Escorindo Jasa Prima         | 0.22        |
| 2       | PT Samudra Jaya Pratama         | 0.18        |
|         | PT Multi Prima Usahatama        | 0.42        |
|         | PT Surya Buana Sentosa          | 0.45        |
| 3       | PT Trikusuma Jaya Perkasa       | 0.33        |
|         | PT Subur Buana Raya             | 0.20        |
|         | PT Lintas Harapan Mandiri       | 0.22        |
|         | PT Makmur Jaya Berkas Bersama   | 0.21        |
|         | PT Lancar Jaya Perkasa          | 0.26        |
|         | PT Janti Sarana Material Beton  | 0.31        |
|         | PT Buana Centra Swakarsa        | 0.13        |

Untuk mendalami pola operasional transporter, dilakukan analisis klaster menggunakan algoritma K-Means. Penentuan jumlah klaster optimal dilakukan melalui metode *Elbow*, dengan melihat titik belok pada grafik WCSS (Within-Cluster Sum of Squares), di mana titik optimal terjadi pada nilai  $k = 3$ . Hal ini menandakan bahwa data transporter idealnya dikelompokkan ke dalam tiga klaster utama. Klaster ini merepresentasikan tiga tingkat risiko operasional: rendah, sedang, dan tinggi.

Pemodelan menggunakan K-Means dilakukan dengan melibatkan delapan variabel kunci, termasuk HarshBraking, OverSpeed, RestTime, dan TotalViolation. Data yang digunakan telah dinormalisasi menggunakan *StandardScaler* untuk menjaga kesetaraan skala antar variabel. Hasil dari proses pelatihan model menunjukkan bahwa tiap transporter

berhasil diklasifikasikan ke dalam salah satu dari tiga klaster berdasarkan kemiripan perilaku operasional.

Visualisasi hasil klasterisasi ditampilkan dalam bentuk *scatter plot*, di mana RestTime diplot pada sumbu X dan TotalViolation pada sumbu Y. Warna titik merepresentasikan masing-masing klaster, sedangkan simbol "X" berwarna hitam menunjukkan posisi centroid tiap klaster. Hasil visualisasi menunjukkan bahwa transporter dalam satu klaster memiliki pola perilaku yang konsisten.

Lebih lanjut, centroid dihitung sebagai rata-rata nilai dari tiap variabel dalam suatu klaster. Klaster 0 ditandai dengan nilai-nilai rendah, mengindikasikan kelompok dengan kinerja baik dan risiko rendah. Klaster 2 menunjukkan nilai-nilai tertinggi pada variabel pelanggaran dan waktu berkendara, mencerminkan risiko operasional tinggi. Sementara itu, klaster 1 menggambarkan transporter dengan kinerja sedang, berada di antara dua kelompok lainnya.

Tabel 4 dan 5 menyajikan pembagian transporter ke dalam masing-masing klaster, lengkap dengan nilai KMeans rata-rata. Contohnya, PT Turangga Paramitra berada di Klaster 1 dengan nilai 0.17, sedangkan PT Surya Buana Sentosa masuk Klaster 2 dengan nilai 0.45, dan PT Janti Sarana Material Beton berada di Klaster 3 dengan nilai 0.31. Segmentasi ini penting dalam menyusun strategi peningkatan performa dan keselamatan kerja, dengan fokus pembinaan lebih besar pada klaster berisiko tinggi.

## V. KESIMPULAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi performansi transporter eksternal PT Solusi Bangun Indonesia berdasarkan perilaku berkendara yang tercatat melalui sistem In-Vehicle Monitoring System (IVMS). Dengan menerapkan metode K-Means Clustering, transporter berhasil dikelompokkan ke dalam tiga klaster dengan tingkat risiko yang berbeda: klaster risiko rendah, sedang, dan tinggi. Klasterisasi ini memungkinkan perusahaan untuk lebih objektif dalam mengevaluasi dan membina mitra transporter berdasarkan pola perilaku mereka, bukan sekadar berdasarkan total pelanggaran tertinggi. Hasil regresi linier menunjukkan bahwa hanya variabel driving time yang berpengaruh signifikan terhadap jarak tempuh transporter, sementara variabel lain seperti harsh braking atau over speed tidak memberikan kontribusi yang berarti secara statistik. Temuan ini menunjukkan bahwa waktu mengemudi yang panjang lebih mencerminkan produktivitas perjalanan daripada tingkat pelanggaran. Secara keseluruhan, penelitian ini memberikan dasar evaluasi yang lebih sistematis dan berbasis data, serta dapat dimanfaatkan untuk menyusun strategi pembinaan dan insentif yang lebih proporsional demi peningkatan keselamatan dan efisiensi operasional logistik perusahaan.

Berdasarkan hasil penelitian ini, disarankan agar PT Solusi Bangun Indonesia menerapkan evaluasi performa transporter secara berkala dengan pendekatan data-driven menggunakan algoritma klasterisasi. Transporter dengan risiko tinggi perlu mendapatkan pembinaan khusus melalui pelatihan keselamatan berkendara atau peninjauan ulang kontrak kerja sama. Sementara itu, transporter dengan performa baik dapat diberikan insentif atau penghargaan sebagai bentuk motivasi. Di sisi lain, pengembangan sistem evaluasi dapat dilakukan dengan menambahkan variabel

eksternal seperti kondisi rute, muatan, atau cuaca untuk menghasilkan analisis yang lebih komprehensif. Penelitian lanjutan juga dapat menguji efektivitas model K-Means dibandingkan algoritma klusterisasi lainnya serta mengembangkan model prediktif untuk mengantisipasi risiko operasional di masa mendatang.

## REFERENSI

- [1] Alami, Anggun, dan Okin Ringan Purba. "Kinerja Transporter Terhadap Pencapaian," 2017, pp. 143–152.
- [2] Alhabib, Tito. "Evaluasi Kinerja Third Party Logistics (3PL) Pengiriman Lokal Berdasarkan Vendor Performance Indicator Melalui Metode Pembobotan Analytical Hierarchy Process (AHP) di PT. Krakatau Argo Logistics," *Ayan*, vol. 15, no. 1, 2024, pp. 37–48.
- [3] Ella Apsil, Andriana Marwanto, dan Moh. Gazali. "Hubungan Kelelahan Kerja dengan Resiko Kecelakaan pada Supir Truk Angkutan Batu Bara," *Journal of Nursing and Public Health*, vol. 11, no. 2, 2023, pp. 547–553. [Online]. Available: <https://doi.org/10.37676/jnph.v11i2.5221>
- [4] I Putu Sugih Arta, Manajemen Risiko: Tinjauan Teori dan Praktis. 2021.
- [5] Yuwan Martus Charisma, Ekawati, dan Widjasena Baju. "Faktor-Faktor yang Berhubungan dengan Defensive Driving pada Pengemudi Bus Rapid Transit (BRT) Trans Semarang Koridor II, III, dan VI," *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, vol. 7, no. 1, 2019, pp. 365–373. [Online]. Available: <http://ejournal3.undip.ac.id/index.php/jkm>
- [6] Rois Arifin Cholilalah dan Aleria Irma Hatneny. "Angewandte Chemie International Edition, 6(11), 951–952," *Angewandte Chemie International Edition*, vol. 2, 1967, pp. 82–95.
- [7] Armin Darmawan, Amrin Rapi, dan A. Alief Rachmat. "Kajian Kualitas Layanan Jasa Transportasi Logistik untuk Meningkatkan Kepuasan Pelanggan dengan Pendekatan Metode Zone of Tolerance (ZOT)," *Jurnal Ilmiah Teknik Industri*, vol. 9, no. 1, 2021, p. 36. [Online]. Available: <https://doi.org/10.24912/jitiuntar.v9i1.8705>
- [8] S. O. Dwika. "Evaluasi Penerapan Standard Operating Procedure (SOP) Driver Studi Kasus Driver Day Trans Shuttle and Courier Jogja," *Skripsi Manajemen*, Yogyakarta, 2017.
- [9] Friska Annisya Felia Anggi. "Analisis Penggunaan Dunnage Bag sebagai Alternatif Semi-Wooden Packing untuk Pengiriman Barang ke Manado pada PT Robert Bosch Indonesia," *Aleph*, vol. 87, no. 1,2, 2023, pp. 149–200.
- [10] Dewi Hajar, Dan Satria, dan Perdana Arifin, "Analisis Pengambilan Keputusan Pemilihan Perusahaan Penyedia 3PL di Pekanbaru," *Jurnal Komputer Terapan*, vol. 1, no. 2, 2015, pp. 19–28. [Online]. Available: <http://jurnal.pcr.ac.id>
- [11] Suhandio Handoko, Fauziah Fauziah, dan Endah Tri Esti Handayani, "Implementasi Data Mining untuk Menentukan Tingkat Penjualan Paket Data Telkomsel Menggunakan Metode K-Means Clustering," *Jurnal Ilmiah Teknologi dan Rekayasa*, vol. 25, no. 1, 2020, pp. 76–88. [Online]. Available: <https://doi.org/10.35760/tr.2020.v25i1.2677>
- [12] Khanzha Jasmine, Manajemen Risiko: Penambahan Natrium Benzoat dan Kalium Sorbat (Antiinversi) dan Kecepatan Pengadukan Sebagai Upaya Penghambatan Reaksi Inversi pada Nira Tebu, 2014.
- [13] Hosang Jung, "Evaluation of Third Party Logistics Providers Considering Social Sustainability," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 9, no. 5, 2017. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/su9050777>
- [14] A. G. Makalew, A. H. Jan, dan M. M. Karuntu, "Analisis Peran Supply Chain Management Terhadap Keunggulan Bersaing pada PT. Mitra Kencana Distribusindo Manado," *Jurnal EMBA*, vol. 7, no. 4, 2019, pp. 5446–5455.
- [15] Harto Maret Wijaya, Ganif Deswantoro, dan Restu Hidayat, "Analisis Perencanaan Supply Chain Management (SCM) pada PT. Kylo Kopi Indonesia," *Jurnal Ekonomi Manajemen Sistem Informasi*, vol. 2, no. 6, 2021, pp. 795–806. [Online]. Available: <https://doi.org/10.31933/jemsi.v2i6.653>
- [16] Muhammad Rifqi Mauludin, Odi Nurdiawan, dan Fadhil Muhammad Basysyar, "Penerapan Algoritma K-Means Clustering untuk Analisis Kinerja Pengiriman Paket Shopee Express di Hub Transit Kedawung," *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, vol. 13, no. 1, 2025, pp. 1188–1192. [Online]. Available: <https://doi.org/10.23960/jitet.v13i1.5870>
- [17] Bayu Dwiputra Mudzakkir, "Pengelompokan Data Penjualan Produk pada PT Advanta Seeds Indonesia Menggunakan Metode K-Means," *Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika*, vol. 2, no. 2, 2018, pp. 34–40.
- [18] Erna Mulyati, Irpan Numang, dan Muchamad Aditya Nurdiansyah, "Usulan Tata Letak Gudang dengan Metode Shared Storage di PT Agility International Customer PT Herbalife Indonesia," *Jurnal Logistik Bisnis*, vol. 10, no. 2, 2020, pp. 36–41. [Online]. Available: <https://doi.org/10.46369/logistik.v10i02.955>

- [19] Luid Pereira de Oliveira, Felipe Jiménez Alonso, Marcelino Aurélio Vieira da Silva, Breno Tostes de Gomes Garcia, dan Diana Mery Messias Lopes, "Analysis of the Influence of Training and Feedback Based on Event Data Recorder Information to Improve Safety, Operational and Economic Performance of Road Freight Transport in Brazil," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 12, no. 19, 2020. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/su12198139>
- [20] Cieng Ping Ping, Immanuel Zai, Jecki Jecki, Angeline Angeline, Susanti Susanti, Anastasia Nabella Setiawan, dan Diavika Febriyanti, "Analisis Kinerja Logistik PT. Batara Indah Mulia ke Luar Negeri," *Jurnal Ilmu Komputer dan Bisnis*, vol. 13, no. 2, 2022, pp. 187–198. [Online]. Available: <https://doi.org/10.47927/jikb.v13i2.351>
- [21] Aditia Sovia Pramudita, Gusti Ayu, dan Anggi Saraswati, "Penilaian Kinerja Perusahaan Berdasarkan Metode Balanced Scorecard (Studi Kasus: PT APL Logistics)," *Jurnal Logistik Bisnis*, vol. 6, no. 2, 2016, pp. 3–6.
- [22] Sulistya Pribadi, Andri Primadi, dan M. Rahadian Kafi, "Analysis Strategy of Supply Chain at Third Party Logistics Warehouse for Distribution Process," *Jurnal Manajemen Bisnis Transportasi dan Logistik*, vol. 4, no. 1, 2017, pp. 63–72.
- [23] Cucu Rina Purwaningrum, Musa Hubeis, dan Sapta Raharja, "Pengembangan Perancangan Model Kawasan/Sentra IKM Halal dalam Rangka Meningkatkan Daya Saing IKM Indonesia," *Manajemen IKM: Jurnal Manajemen Pengembangan Industri Kecil Menengah*, vol. 14, no. 2, 2019, pp. 134–142. [Online]. Available: <https://doi.org/10.29244/mikm.14.2.134-142>
- [24] Kadek Bagus Putra Permana, "Analisis Peran Supply Chain Management (SCM) dalam Meningkatkan Kinerja Perusahaan," *COMSERVA: Jurnal Penelitian dan Pengabdian Masyarakat*, vol. 3, no. 06, 2023, pp. 2275–2287. [Online]. Available: <https://doi.org/10.59141/comserva.v3i06.1015>
- [25] Oleh Putu, Franciska Fajarini, dan S. Log, "Artikel Tiga Dekade: Third Party Logistics (3PL) dari Masa ke Masa," 2020, pp. 1–6.
- [26] Muhammad Radhi, Amalia Amalia, Daniel Ryan Hamonangan Sitompul, Steven Hamonangan Sinurat, dan Evta Indra, "Analisis Big Data dengan Metode Exploratory Data Analysis (EDA) dan Metode Visualisasi Menggunakan Jupyter Notebook," *Jurnal Sistem Informasi dan Ilmu Komputer Prima (JUSIKOM PRIMA)*, vol. 4, no. 2, 2022, pp. 23–27. [Online]. Available: <https://doi.org/10.34012/jurnalsisteminformasidanilmukomputer.v4i2.2475>
- [27] Kuncorosidi Ramadhan dan Aditya Pamungkas, "Systematic Literature Review: Digitalisasi Rantai Pasok untuk Disrupsi Pada Masa Depan Supply Chain Management," *Jurnal Bisnis*, vol. 12, no. 2, 2024, pp. 1–30.
- [28] Ramadhani Ramadhani, Ramadhanu Ramadhanu, dan Taufik Hidayat, "Exploratory Data Analysis (EDA) untuk Mengetahui Distribusi Data Kualitas Susu Sapi," *Jurnal SAINTIKOM (Jurnal Sains Manajemen Informatika dan Komputer)*, vol. 23, no. 1, 2024, pp. 68–74. [Online]. Available: <https://doi.org/10.53513/jis.v23i1.9500>
- [29] Doni H. Ramdhan, *Manajemen Risiko & Manajemen Risiko*, Dep. K3 FKMUI, 2006.
- [30] Sandra Regina, Entin Sutinah, dan Nani Agustina, "Clustering Kualitas Kinerja Karyawan pada Perusahaan Bahan Kimia Menggunakan Algoritma K-Means," *Jurnal Media Informatika Budidarma*, vol. 5, no. 2, 2021, pp. 573–578. [Online]. Available: <https://doi.org/10.30865/mib.v5i2.2909>
- [31] Elya Rosiana, Annisa Kesy Garside, dan Ikhlasil Amallynda, "Integration of Rough SWARA and COPRAS in the Performance Evaluation of Third-Party Logistics Providers," *Jurnal Teknik Industri*, vol. 22, no. 1, 2021, pp. 31–42. [Online]. Available: <https://doi.org/10.22219/jtiumm.vol22.no1.31-42>
- [32] Agus Bima Saputra, "Algoritma K-Means untuk Mengelompokkan Tingkat...," *Jurnal* vol. 15, no. 2, 2024, pp. 75–81. (Catatan: Judul jurnal tidak lengkap, mohon dikonfirmasi untuk koreksi final)
- [33] Cornelia Selvi Dinta Br Sembiring, Latifah Hanum, dan Saut Parsaoran Tamba, "Penerapan Data Mining Menggunakan Algoritma K-Means untuk Menentukan Judul Skripsi dan Jurnal Penelitian (Studi Kasus FTIK UNPRI)," *Jurnal Sistem Informasi dan Ilmu Komputer Prima (JUSIKOM PRIMA)*, vol. 5, no. 2, 2022, pp. 80–85. [Online]. Available: <https://doi.org/10.34012/jurnalsisteminformasidanilmukomputer.v5i2.2393>
- [34] Dina Putri Shabrina, "Analisis Keputusan Multi-Kriteria dengan Analytical Network Process (ANP) untuk Pemilihan Sustainable Vendor 3PL (Third Party Logistic) pada Distribution Center Vehicle PT. XYZ," *Ayan*, vol. 15, no. 1, 2024, pp. 37–48.
- [35] Andreas Nugroho Sihananto, Anggraini Puspita Sari, Heri Khariono, Rifki Akhmad Fernanda, dan Devan Cakra Mudra Wijaya, "Implementasi Metode K-Means untuk Pengelompokan Kasus Covid-19 Tingkat Provinsi di Indonesia," *Jurnal Informatika dan Sistem Informasi*, vol. 3, no. 1, 2022, pp. 76–85. [Online]. Available: <https://doi.org/10.33005/jifosi.v3i1.472>

- [36] Soonhu Soh, "A Decision Model for Evaluating Third-Party Logistics Providers Using Fuzzy Analytic Hierarchy Process," *African Journal of Business Management*, vol. 4, no. 3, 2010, pp. 339–349. [Online]. Available: <http://academicjournals.org/AJBM/PDF/pdf2010/Mar/Soh.pdf>
- [37] Somadi, Desi Arista Pasaribu, dan Rizky Khoiriyah, "Evaluasi Pemilihan Penyedia Jasa Truk Angkutan Barang Menggunakan Metode Simple Additive Weighting," *Jurnal Nusantara Aplikasi Manajemen Bisnis*, vol. 5, no. 2, 2020, pp. 91–112. [Online]. Available: <https://doi.org/10.29407/nusamba.v5i2.14508>
- [38] Siniša Sremac, Željko Stević, Dragan Pamučar, Miloš Arsić, dan Bojan Matić, "Evaluation of a Third-Party Logistics (3PL) Provider Using a Rough SWARA-WASPAS Model Based on a New Rough Dombi Aggregator," *Symmetry*, vol. 10, no. 8, 2018, pp. 1–25. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/sym10080305>
- [39] Ahad Subagyo, Rusli Simanjutak, dan Alexander Irianto, *Dasar-Dasar Manajemen Risiko*, Jakarta: Mitra Wacana Media, 2020.
- [40] Darjat Sudrajat, "Segmentasi Pasar Penyedia Jasa Logistik (Third Party Logistics) di Indonesia," *Binus Business Review*, vol. 1, no. 2, 2010, pp. 332–336. [Online]. Available: <https://doi.org/10.21512/bbr.v1i2.1079>
- [41] Agus Wibowo, *Risiko Manajemen*, vol. 1, 2022, pp. 1–407.
- [42] Yonathan Yonathan, "Analisis Pemilihan Vendor Terbaik dalam Pengiriman Produk Minuman dalam Kemasan Menggunakan Metode AHP dan TOPSIS di PT CS2 Pola Sehat," *Jurnal Logistik Indonesia*, vol. 4, no. 1, 2020, pp. 12–19. [Online]. Available: <https://doi.org/10.31334/logistik.v4i1.869>
- [43] Yulfiswandi, Benedicte Hartono, Carol Jackson, Vina Sonata, dan Winna Angelina, "Pengaruh Penerapan Sistem Manajemen Sumber Daya Perusahaan (ERP) dalam Meningkatkan Kinerja Manajemen Rantai Pasok (SCM) AirAsia," *E-Bisnis: Jurnal Ilmiah Ekonomi dan Bisnis*, vol. 16, no. 1, 2023, pp. 92–98. [Online]. Available: <https://doi.org/10.51903/e-bisnis.v16i1.1130>