

PEMODELAN *FREIGHT TRIP GENERATION* BERBASIS ZONA DENGAN MODA KAPAL STUDI KASUS: KEPULAUAN SERIBU

Devita Yoselyn Nashwa
Departemen Teknik Sipil
Universitas Indonesia
Kota Depok, Jawa Barat 16424
devitayoselyn@gmail.com

Nahry
Departemen Teknik Sipil
Universitas Indonesia
Kota Depok, Jawa Barat 16424
nahry@eng.ui.ac.id

Sutanto Soedhono
Departemen Teknik Sipil
Universitas Indonesia
Kota Depok, Jawa Barat 16424
sutantoso@ui.ac.id

Helen Burhan
Departemen Matematika
Universitas Indonesia
Kota Depok, Jawa Barat 16424
hnburhan@ui.ac.id

Abstract

Indonesia, one of the largest archipelagic countries, requires effective maritime logistics. This study focuses on the modeling of freight trip generation for ship mode in one of Indonesia's archipelagic regions, Kepulauan Seribu in the DKI Jakarta Province. Using a quantitative approach with linear regression analysis, the study examines the factors influencing the generation and attraction of ship trips related to freight movement. The dependent variable is the number of ship trips, while the independent variables include island area, population size, and the nearest distance to a port in Java Island. The findings indicate that population size and the nearest distance to a port are the most influential factors. These results can help transportation planners estimate future freight trips in small archipelagic regions, providing crucial insights for the planning of maritime transport infrastructure and support facilities.

Keywords: archipelago, freight trips, area size, nearest distance, population size

Abstrak

Indonesia, sebagai salah satu negara kepulauan terbesar, memerlukan logistik maritim yang efektif. Studi ini berfokus pada pemodelan bangkitan perjalanan barang dengan moda kapal di salah satu wilayah kepulauan Indonesia, yaitu Kepulauan Seribu di Provinsi DKI Jakarta. Menggunakan pendekatan kuantitatif dengan analisis regresi linear, penelitian ini menganalisis faktor-faktor yang memengaruhi bangkitan dan tarikan perjalanan kapal terkait pergerakan barang. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah jumlah perjalanan kapal, sementara variabel bebasnya meliputi luas wilayah pulau, jumlah penduduk, dan jarak terdekat ke pelabuhan di Pulau Jawa. Temuan menunjukkan bahwa jumlah penduduk dan jarak terdekat ke pelabuhan adalah faktor yang paling berpengaruh. Hasil ini dapat membantu perencanaan transportasi dalam memperkirakan perjalanan barang di wilayah kepulauan kecil di masa mendatang, memberikan wawasan penting untuk perencanaan infrastruktur dan fasilitas pendukung transportasi laut.

Kata Kunci: kepulauan, perjalanan barang, luas wilayah, jarak terdekat, jumlah penduduk

PENDAHULUAN

Perpindahan barang antarwilayah adalah aspek krusial dalam ekonomi global. Dengan meningkatnya jumlah penduduk, kebutuhan akan transportasi barang juga mengalami peningkatan signifikan. Kenaikan ini harus didukung oleh fasilitas yang

memadai untuk menghindari masalah logistik, seperti biaya logistik yang tinggi. Indonesia, sebagai negara kepulauan terbesar di dunia, menghadapi tantangan besar dalam hal biaya logistik. Pada tahun 2020, biaya logistik Indonesia mencapai 22% dari Produk Domestik Bruto (PDB) (Armstrong dan Associates, 2021).

Kabupaten Kepulauan Seribu yang merupakan bagian dari Provinsi DKI Jakarta, memiliki perbedaan ekonomi yang signifikan dibandingkan dengan wilayah daratan Jakarta. Berdasarkan data BPS (2022), rata-rata gaji bersih di Kabupaten Kepulauan Seribu hanya mencapai sekitar 20.85% dari rata-rata gaji bersih di Provinsi DKI Jakarta. Nilai pendapatan yang relatif kecil menunjukkan adanya kesenjangan ekonomi antara Kabupaten Kepulauan Seribu dengan wilayah DKI Jakarta secara keseluruhan.

Biaya logistik yang tinggi di Indonesia dan kesenjangan antara wilayah kepulauan dengan daratan di DKI Jakarta menyoroti kebutuhan akan peningkatan layanan transportasi laut Indonesia. Dalam rangka mengatasi tantangan-tantangan logistik kepulauan, diperlukan penelitian mengenai *demand forecasting* yang dapat mengestimasi jumlah perjalanan kapal. Hal ini penting dalam proses perencanaan transportasi untuk mengakomodasi perpindahan barang di wilayah kepulauan. Penelitian ini bertujuan untuk mengestimasi perjalanan barang dengan moda kapal di Kabupaten Kepulauan Seribu beserta faktor-faktor yang memengaruhinya. Penelitian ini diharapkan dapat berkontribusi dalam perencanaan fasilitas transportasi logistik laut, khususnya di kepulauan kecil.

TINJAUAN TEORITIS

Freight Trip Generation (FTG) dan *Freight Generation* (FG) merupakan bentuk pemodelan bangkitan perjalanan untuk transportasi barang. FG mengacu pada pergerakan barang yang diukur berdasarkan volume atau tonase (m^3 atau ton), sedangkan FTG menghasilkan model dalam satuan perjalanan kendaraan (*trips*) yang dihasilkan oleh pengangkutan barang (Holguín-Veras et al., 2014). FG/FTG umumnya dibagi menjadi *attraction* (tarikan) dan *production* (bangkitan). *Freight Trip Attraction* (FTA) mengacu pada jumlah perjalanan kendaraan barang yang tiba di suatu lembaga, sedangkan *Freight Trip Production* (FTP) mengacu pada jumlah perjalanan barang yang berangkat dari lembaga tersebut (National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2016). Penting untuk membedakan antara FTA dan FTP karena keduanya dipengaruhi oleh faktor yang berbeda. Sebagian besar studi FG/FTG menggunakan regresi *ordinary least squares* (OLS) (Oliveira et al., 2022; Pani et al., 2018) karena kemampuannya untuk menjelaskan hubungan antara aktivitas barang dan variabel-variabel kausal.

Di wilayah kepulauan, transportasi laut memegang peran penting dalam memfasilitasi distribusi pergerakan barang. Pulau-pulau yang tersebar dan terpisah oleh laut dan selat membutuhkan moda transportasi kapal, untuk menjaga kelancaran aktivitas masyarakat. Namun, ketergantungan pada layanan transportasi laut sering menghadapi masalah aksesibilitas, seperti yang dijelaskan oleh Fernandes dan Pinho (2017).

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Kabupaten Kepulauan Seribu, Provinsi DKI Jakarta, yang mencakup sebelas pulau berpenghuni. Wilayah penelitian dibagi menjadi delapan zona internal dan empat zona eksternal. Zona internal mencakup delapan pulau berpenghuni di Kabupaten Kepulauan Seribu, sedangkan zona eksternal terdiri dari empat pelabuhan di Pulau Jawa yang memiliki pengaruh signifikan terhadap perjalanan barang di Kabupaten Kepulauan Seribu. Keempat pelabuhan tersebut adalah Pelabuhan Muara Angke, Tanjung Pasir, Kronjo, dan Cituis. Pembagian zona internal dilakukan berdasarkan batasan administrasi pulau, yang berarti satu pulau berpenghuni dianggap sebagai satu zona. Namun, karena beberapa pulau tidak dilayani oleh Pelabuhan Muara Angke, Tanjung Pasir, Kronjo, ataupun Cituis, perjalanan barang di pulau tersebut tidak tercatat, sehingga pembagian zona internal hanya mencakup delapan pulau, yaitu Pulau Untung Jawa, Lancang Besar, Pari, Tidung Besar, Pramuka, Panggang, Kelapa, dan Harapan.

Variabel terikat dalam penelitian ini adalah jumlah perjalanan kapal, yang dibagi menjadi *Freight Trip Attraction* (FTA) dan *Freight Trip Production* (FTP). Data variabel terikat berasal dari *manifest* kapal yang dikelola oleh otoritas di Pelabuhan Muara Angke, Tanjung Pasir, Kronjo, serta Cituis. Berdasarkan survei yang dilakukan Lembaga Teknologi (LEMTEK) FTUI (2023), pergerakan barang di Kabupaten Kepulauan Seribu hanya berupa *incoming cargo*. Hampir tidak ada barang yang dikirim antar zona internal, kecuali hasil tangkapan nelayan yang dibawa langsung ke pelabuhan tujuan menggunakan kapal ikan mereka. Dengan demikian, dalam pembuatan Matriks Asal Tujuan (MAT), pergerakan barang yang ditinjau hanyalah pergerakan eksternal – internal dan internal – eksternal (Tabel 1).

Tabel 1 Matriks Asal Tujuan (MAT) Perjalanan Barang di Kepulauan Seribu Tahun 2022
(dalam perjalanan/hari)

Tujuan Asal	Untung Jawa	Lancang	Pari	Tidung	Pramuka	Panggang	Kelapa	Harapan	Cituis	Tj Pasir	Muara Angke	Kronjo	TOTAL
Untung Jawa										3.756			3.756
Lancang									3.794	0.003			3.797
Pari									1.042				1.042
Tidung									1.261				1.261
Pramuka									0.431				0.431
Panggang									0.792				0.792
Kelapa									0.003			1.247	1.250
Harapan									0.058				0.058
Cituis		3.856	1.086	1.353	0.442	0.833	0.003	0.058					7.631
Tj Pasir	4.090	0.003											4.093
Muara Angke			0.247	0.304	0.521		0.545	0.107					1.723
Kronjo							1.902						1.902
TOTAL	4.090	3.858	1.333	1.657	0.962	0.833	2.450	0.165	7.381	3.759	0	1.247	27.736

Variabel bebas yang dianalisis meliputi luas pulau (X_1), jumlah penduduk (X_2), dan jarak terdekat pulau ke pelabuhan utama di Pulau Jawa (X_3). Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa luas pulau dan jumlah penduduk berpengaruh signifikan terhadap jumlah perjalanan barang (Sahu dan Pani, 2020; Junaedi, 2022). Pulau yang lebih luas cenderung memiliki lebih banyak aktivitas dan fasilitas, yang meningkatkan perjalanan barang. Demikian pula, populasi yang lebih besar meningkatkan permintaan barang dan

frekuensi pengiriman. Variabel jarak dipilih karena relevansinya dengan perjalanan eksternal-internal, di mana penduduk mungkin membatasi frekuensi perjalanan pada jarak yang lebih jauh dan lebih memilih melakukan perjalanan ke pulau internal terdekat.

Pada variabel X_3 , jarak terdekat yang digunakan adalah jarak lurus, bukan jarak berdasarkan trayek kapal, karena trayek kapal dapat berubah-ubah tergantung pada kondisi cuaca. Analisis data dilakukan menggunakan metode regresi linear, diikuti dengan pengujian asumsi klasik dan signifikansi.

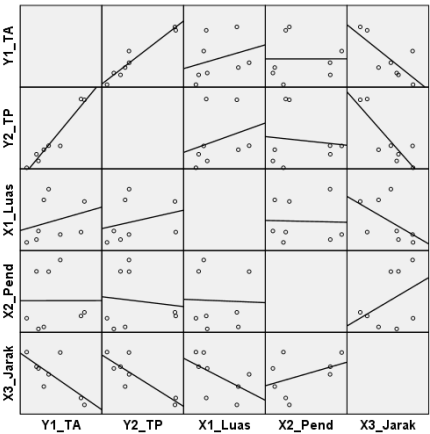
Tabel 2. Rekapitulasi Variabel Terikat dan Variabel Bebas

Zona	Nama Pulau	FTA	FTP	X_1	X_2	X_3
1	Untung Jawa	4,090	3,756	40,1	2627	6,23
2	Lancang Besar	3,858	3,797	15,13	2333	10,9
3	Pari	1,333	1,042	41,32	1439	18,7
4	Tidung Besar	1,657	1,261	50,13	5951	27
5	Pramuka	0,962	0,431	16	1282	31
6	Panggang	0,833	0,792	9	5971	32,2
7	Kelapa	2,450	1,250	13,09	6900	41,8
8	Harapan	0,165	0,058	6,7	2148	42,1

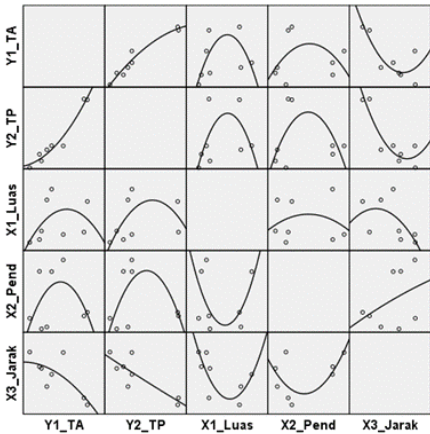
Keterangan:
 FTA : *Freight Trip Attraction* (perjalanan/hari)
 FTP : *Freight Trip Production* (perjalanan/hari)
 X_1 : Luas Pulau (ha)
 X_2 : Jumlah Penduduk (jiwa)
 X_3 : Jarak Terdekat Pulau ke Pelabuhan di Pulau Jawa (km)

ANALISIS REGRESI LINEAR

Penelitian ini menggunakan analisis regresi linear sederhana dan berganda, baik dengan maupun tanpa intersep. Model terbaik ditentukan setelah semua model diuji terhadap asumsi-asumsi regresi linear, termasuk uji signifikansi dan asumsi klasik.



Gambar 1. *Pair Plot* Variabel Terikat dan Variabel Bebas dengan *Trendline* Linear



Gambar 2. *Pair Plot* Variabel Terikat dan Variabel Bebas dengan *Trendline* Kuadrat

Berdasarkan *pair plot* pada Gambar 1 dan Gambar 2 terlihat bahwa hubungan antara variabel X_1 dan X_2 cenderung bersifat kuadratik terhadap variabel Y . Oleh karena itu, dalam analisis regresi digunakan persamaan dengan transformasi variabel X_1 dan X_2 menjadi X_1^2 dan X_2^2 .

Uji signifikansi

Uji signifikansi yang digunakan dalam penelitian ini meliputi uji t dan uji F . Dalam analisis regresi linear berganda, model dapat diterima jika setidaknya salah satu variabel memiliki $t_{value} < 0,05$ dan $F_{value} < 0,05$. Dari total 18 persamaan untuk masing-masing FTA dan FTP, diperoleh lima model FTA (Tabel 3) dan enam model FTP (Tabel 4) yang memenuhi kriteria uji t dan uji F . Model yang memenuhi uji t dan uji F kemudian dilanjutkan ke tahap uji asumsi klasik.

Tabel 3 Hasil Uji t dan Uji F Model FTA

No	Persamaan	Sig Uji t ($<0,05$)	Sig Uji F ($<0,05$)
1	FTA = 0,063 X_1	0,014	0,014
2	FTA = 0,0004 X_2	0,034	0,34
3	FTA = 4,017 – 0,08 X_3	0,003 (β_0) 0,034 (X_3)	0,034
4	FTA = .192 X_1 - .003 X_1^2	0,02 (X_1) 0,07 (X_1^2)	0,011
5	FTA = 0,001 X_2 - 1.693E-7 X_2^2	0,029 (X_2) 0,079 (X_2^2)	0,024

Tabel 4 Hasil Uji t dan Uji F Model FTP

No	Persamaan	Sig Uji t ($<0,05$)	Sig Uji F ($<0,05$)
1	FTP = 0,052 X_1	0,025	0,025
2	FTP = 3,934 – 0,091 X_3	0,001 (β_0) 0,008 (X_3)	0,008
3	FTP = 0,001 X_2 – 1,738E-7 X_2^2	0,027 (X_2) 0,060 (X_2^2)	0,037
4	FTP = 4,803 – 0,030 X_1 + 0,000 X_2 – 0,128 X_3	0,008 (β_0) 0,193 (X_1) 0,153 (X_2) 0,009 (X_3)	0,033
5	FTP = 4,834 – 0,021 X_1 – 0,106 X_3	0,009 (β_0) 0,379 (X_1) 0,013 (X_3)	0,028
6	FTP = 3,627 + 0,000 X_2 – 0,104 X_3	0,003 (β_0) 0,269 (X_2) 0,009 (X_3)	0,022

Uji asumsi klasik

Uji asumsi klasik mencakup uji multikolinearitas (untuk model regresi linear berganda), uji normalitas, dan uji heteroskedastisitas. Uji multikolinearitas digunakan untuk mengevaluasi apakah terdapat hubungan yang kuat antara dua atau lebih variabel bebas dalam analisis regresi linear yang dapat memengaruhi interpretasi hasil regresi. Dari ketiga model yang diuji, tidak ditemukan gejala multikolinearitas pada ketiganya (

Tabel 5).

Tabel 5 Hasil Uji Multikolinearitas Seluruh Persamaan Linear Berganda

No.	Persamaan	Collinearity Statistics		Ket
		Tolerance (>0,1)	VIF (<10)	
1	FTP = 4,803 – 0,030 X ₁ + 0,000231 X ₂ – 0,128 X ₃	0,655 (X ₁)	1,526 (X ₁)	Lolos
		0,775 (X ₂)	1,291 (X ₂)	
		0,544 (X ₃)	1,839 (X ₃)	
2	FTP = 4,834 – 0,021 X ₁ – 0,106 X ₃	0,701 (X ₁)	1,426 (X ₁)	Lolos
		0,701 (X ₃)	1,426 (X ₃)	
3	FTP = 3,627 + 0,000178 X ₂ – 0,104 X ₃	0,829 (X ₂)	1,206 (X ₂)	Lolos
		0,829 (X ₃)	1,206 (X ₂)	

Pengujian berikutnya adalah uji normalitas. Model regresi yang dianggap baik adalah model dimana residu terdistribusi secara normal. Residu yang normal menandakan bahwa himpunan Y hitung dan Y asli memiliki distribusi yang sama. Berdasarkan Tabel 6 dan Tabel 7, seluruh model memenuhi uji normalitas.

Pengujian heteroskedastisitas dilakukan untuk menguji adanya ketidaksamaan varian dari residu satu pengamatan ke pengamatan lain. Kesimpulan yang diambil menjadi tidak valid jika terjadi heteroskedastisitas dalam persamaan. Hasil pengujian pada Tabel 6 dan Tabel 7 **Error! Reference source not found.** menunjukkan seluruh persamaan FTA dan FTP tidak terdapat gejala heteroskedastisitas.

Tabel 6 Hasil Uji Normalitas dan Heteroskedastisitas Model FTA

No	Persamaan	Uji Normalitas (Sig<0,05)	Uji Heteroskedastisitas (Sig> 0,05)	Ket
1	FTA = 0,063 X ₁	0,699	0,651	Lolos
2	FTA = 0,0004 X ₂	0,21	0,955	Lolos
3	FTA = 4,017 – 0,08 X ₃	0,469	1	Lolos
4	FTA = 0,192 X ₁ – 0,003 X ₁ ²	0,247	0,955 (X ₁) 0,955 (X ₁ ²)	Lolos
5	FTA = 0,001 X ₂ – 1,693E- 7 X ₂ ²	0,427	0,779 (X ₂) 0,779 (X ₂ ²)	Lolos

Tabel 7 Hasil Uji Normalitas dan Heteroskedastisitas Model FTP

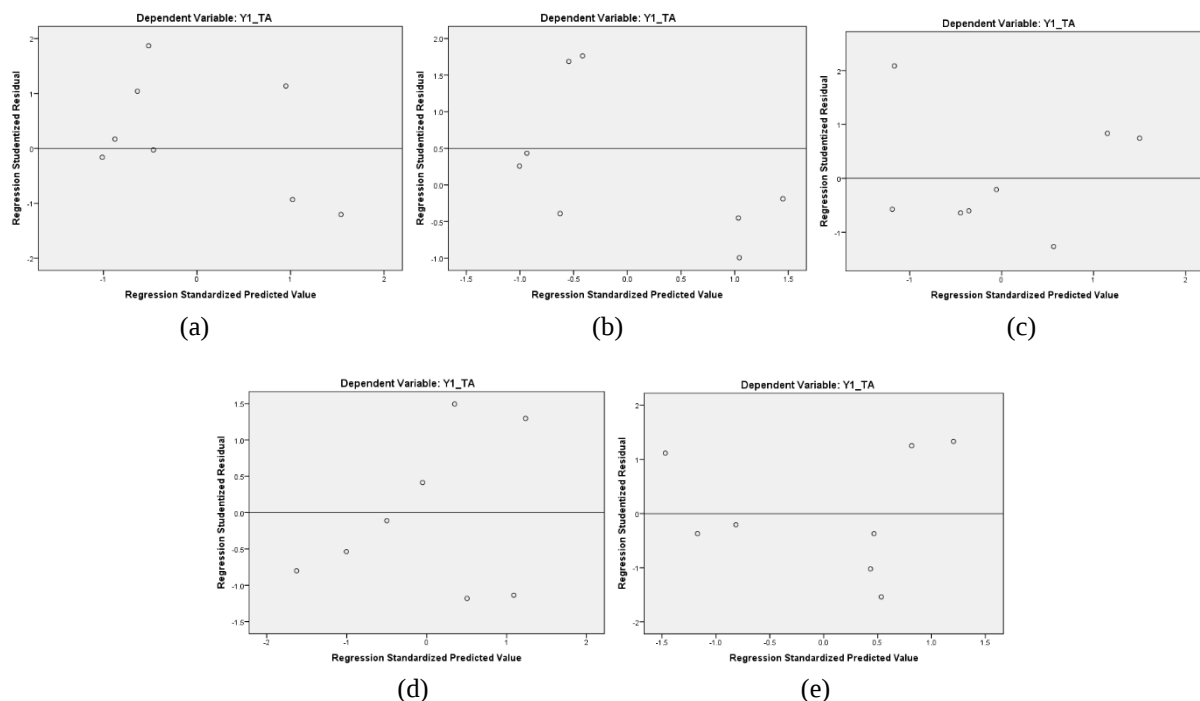
No	Persamaan	Uji Normalitas (Sig<0,05)	Uji Heteroskedastisitas (Sig>0,05)	Ket
1	FTP = 0,052 X ₁	0,55	0,086	Lolos
2	FTP = 3,934 – 0,091 X ₃	0,911	0,352	Lolos
3	FTP = 0,001 X ₂ – 1,738E-7 X ₂ ²	0,630	0,456 (X ₂) 0,456 (X ₂ ²)	Lolos
4	FTP = 4,803 – 0,030 X ₁ + 0,000 X ₂ – 0,128 X ₃	0,405	0,139 (X ₁) 0,320 (X ₂) 0,320 (X ₃)	Lolos
5	FTP = 4,834 – 0,021 X ₁ – 0,106 X ₃	0,671	0,911 (X ₁) 0,911 (X ₃)	Lolos
6	FTP = 3,627 + 0,000 X ₂ – 0,104 X ₃	0,514	0,651 (X ₂) 0,693 (X ₃)	Lolos

PEMBAHASAN

Dari semua pengujian yang telah dilakukan, terdapat lima model *Freight Trip Attraction* dan enam model *Freight Trip Production* yang lolos. Umumnya, pemilihan model terbaik dilakukan berdasarkan R^2 tertinggi. Namun, nilai R^2 dapat menunjukkan bias dan telah banyak peneliti yang mengkritik keras penggunaan R^2 untuk menilai seberapa efektif suatu model. Menurut Goldberg (1991), R^2 tidak memiliki kepentingan dalam model regresi klasik. Lebih lanjut, penelitian yang dilakukan oleh Li (2017), juga memberikan penjelasan mengenai keterbatasan penggunaan R^2 dalam analisis. Model yang akurat dapat memiliki nilai R^2 yang rendah, sementara model yang tidak akurat dapat menghasilkan nilai R^2 yang tinggi (Shalizi, 2015). Menurut Onyutha (2020), nilai R^2 harus selalu disertai dengan analisis residu. Praktik umum yang dilakukan adalah menggunakan plot residu.

Analisis model *Freight Trip Attraction*

Berdasarkan grafik pada Gambar 3, ditemukan beberapa pola dalam distribusi residu. Grafik (a) menunjukkan adanya pola residu yang awalnya meningkat kemudian menurun, indikasi adanya kemungkinan non-linearitas dalam data. Grafik (b) memperlihatkan residu yang tersebar secara acak, yang menunjukkan tidak adanya pola sistematis dan mengindikasikan model yang baik. Namun, kekurangan pada grafik (b) adalah mayoritas residunya berada di bawah nol, yang dapat menunjukkan bias dalam prediksi dengan hasil prediksi kebanyakan lebih rendah dibandingkan nilai pengamatan. Grafik (c) menggambarkan residu yang berfluktuasi di sekitar nol, yang merupakan indikasi model yang akurat karena residunya tetap dekat dengan garis nol. Sementara itu, grafik (d) meskipun residunya cukup dekat dengan nol, menunjukkan adanya pola kenaikan. Terakhir, grafik (e) juga memperlihatkan residu yang tersebar secara acak, mengindikasikan model yang baik tanpa pola yang mencolok. Berdasarkan analisis ini, dari lima model FTA yang ada pada Gambar 3, model terbaik adalah model $FTA = 0,001 X_2 - 1,693 \times 10^{-7} X_2^2$ dan model $FTA = 4,017 - 0,08 X_3$.



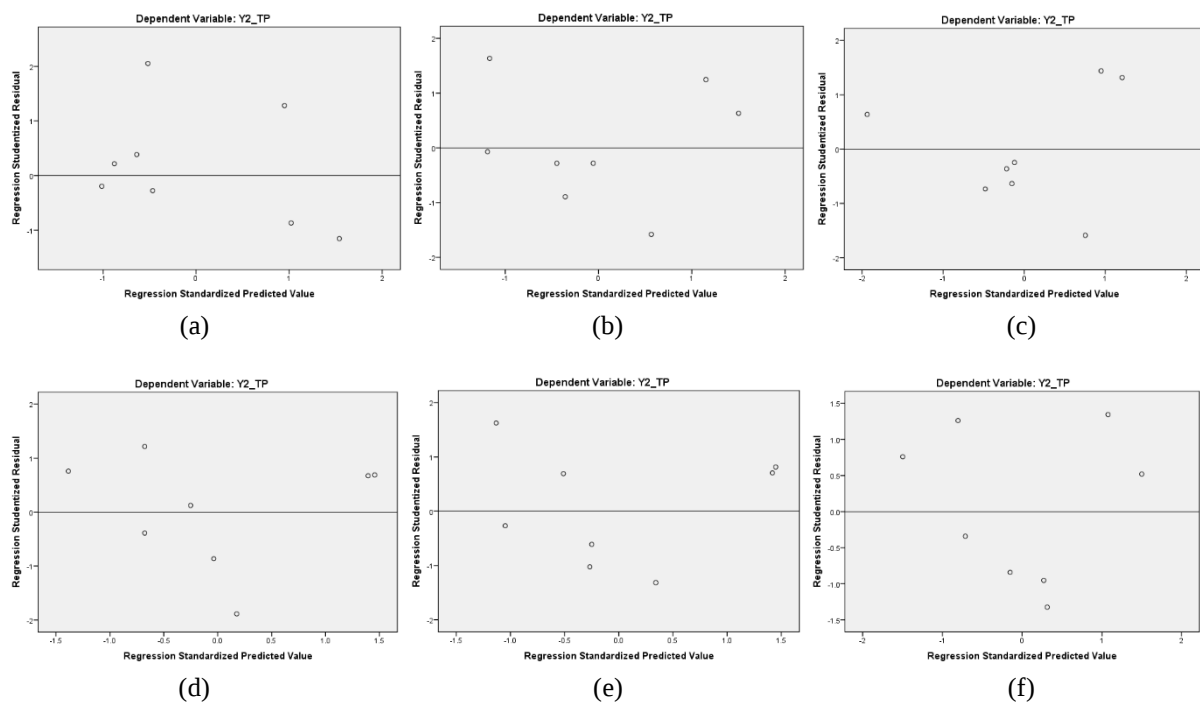
Gambar 3. Scatter Plot Residu Seluruh Model *Freight Trip Attraction* (FTA)

(a) Residu Model $FTA = 0,063 X_1$, (b) $FTA = 0,0004 X_2$, (c) $FTA = 4,017 - 0,08 X_3$, (d) $FTA = 0,192 X_1 - 0,003 X_1^2$, dan (e) $FTA = 0,001 X_2 - 1,693E-7 X_2^2$

Model $FTA = 0,001 X_2 - 1,693 \times 10^{-7} X_2^2$ dipengaruhi oleh variabel jumlah penduduk (X_2). Koefisien 0,001 pada variabel X_2 mengindikasikan bahwa peningkatan X_2 juga akan meningkatkan nilai FTA, tetapi hanya berlaku untuk nilai-nilai kecil dari X_2 karena pengaruh negatif dari komponen kuadrat ($-1,693 \times 10^{-7} X_2^2$) akan menjadi lebih dominan seiring dengan bertambahnya nilai X_2 . Keunggulan model ini adalah kemampuannya memprediksi jumlah perjalanan di masa depan dengan dasar pertumbuhan populasi. Namun, kekurangannya adalah adanya indikasi non-linearitas, yang mengisyaratkan bahwa FTA mungkin juga dipengaruhi oleh variabel lain yang tidak diperhitungkan dalam model ini.

Model selanjutnya adalah model $FTA = 4,017 - 0,08 X_3$ dengan variabel utama jumlah penduduk (X_2) dan jarak terdekat ke Pulau Jawa (X_3). Setiap kenaikan X_3 sebesar 1 satuan akan mengurangi nilai FTA sebesar 0,08 satuan. Keunggulan model ini adalah penggunaan variabel jarak yang mudah didapatkan melalui teknologi seperti Google Earth. Kekurangannya adalah model ini tidak dapat memprediksi jumlah perjalanan di masa depan karena jarak tidak berubah, sehingga hanya berguna untuk prediksi perjalanan yang belum tercatat.

Analisis model *Freight Trip Production*



Gambar 4. Scatter Plot Residu Seluruh Model *Freight Trip Production* (FTP)

(a) Residu Model $FTP = 0,052 X_1$, (b) $FTP = 3,934 - 0,091 X_3$, (c) $FTP = 0,001 X_2 - 1,738E-7 X_2^2$, (d) $FTP = 4,803 - 0,030 X_1 + 0,000231 X_2 - 0,128 X_3$, (e) $FTP = 4,834 - 0,021 X_1 - 0,106 X_3$, dan (f) $FTP = 3,627 + 0,000178 X_2 - 0,104 X_3$

Berdasarkan grafik pada Gambar 4, terdapat beberapa temuan terkait pola residu dari masing-masing model. Grafik (a) menunjukkan bahwa residu memiliki pola naik lalu turun dengan titik yang berada di atas nol dan di bawah nol rata jumlahnya. Grafik (b) dianggap

baik karena residunya tersebar secara acak. Namun, pada grafik (c), terdapat beberapa titik yang mengumpul berdekatan di tengah grafik. Hal ini dapat menandakan bahwa model regresi mungkin tidak mampu menangkap sebagian besar variasi dalam data. Sementara itu, grafik (d) dan (e) juga menunjukkan kurangnya dispersi residu karena beberapa dua titik yang mengumpul di sebelah kanan grafik dan terpisah dari data lainnya. Walaupun tidak separah grafik (c), hal ini juga menandakan bahwa model regresi mungkin tidak mampu menangkap sebagian besar variasi dalam data. Grafik (f), di sisi lain, menampilkan distribusi residu yang baik, dengan titik-titik yang tersebar dan tidak ada yang mengumpul. Residu juga cukup dekat dengan garis nol, menandakan konsistensi model dalam memprediksi nilai *Freight Trip Production* (FTP). Berdasarkan analisis ini, maka dipilih persamaan $FTP = 3,934 - 0,091 X_3$ dan $FTP = 3,627 + 0,000178 X_2 - 0,104 X_3$ sebagai model terbaik.

Model $FTP = 3,934 - 0,091 X_3$ memiliki variabel utama jarak terdekat ke Pulau Jawa (X_3). Setiap kenaikan X_3 sebesar 1 satuan, maka besar FTP akan turun sebesar 0,091 satuan. Sama seperti model FTA, model FTP dengan variabel utama X_3 memiliki keunggulan data variabel bebas yang mudah didapatkan. Kekurangannya adalah ketidakmampuannya memprediksi jumlah perjalanan di masa depan karena jarak tidak berubah.

Model berikutnya adalah model $FTP = 3,627 + 0,000178 X_2 - 0,104 X_3$ dengan variabel bebas jumlah penduduk (X_2) dan jarak terdekat ke Pulau Jawa (X_3). Dalam persamaan ini, setiap peningkatan satu satuan dalam jumlah penduduk akan menyebabkan peningkatan 0,000178 satuan dalam jumlah perjalanan barang, dengan asumsi variabel lain tetap. Selain itu, setiap peningkatan satu satuan dalam jarak ke Pulau Jawa akan menyebabkan penurunan 0,104 satuan dalam jumlah perjalanan barang, dengan asumsi variabel lain tetap. Kelebihan model ini adalah dengan dua variabel bebas, model dapat memberikan prediksi yang lebih akurat dibandingkan model yang hanya menggunakan satu variabel. Namun, kekurangannya adalah model ini kurang fleksibel karena memerlukan data dari dua variabel (jumlah penduduk dan jarak) untuk menghasilkan prediksi, sehingga tidak dapat digunakan jika hanya tersedia salah satu dari kedua variabel tersebut.

Analisis variabel bebas

Penelitian menunjukkan bahwa FTA dan FTP dipengaruhi oleh jumlah penduduk (X_2) dan jarak ke pelabuhan besar (X_3). Jumlah penduduk berhubungan positif dengan jumlah perjalanan barang, sesuai temuan Sahu dan Pani (2020) serta Junaedi (2022). Sementara itu, jarak ke pelabuhan besar adalah variabel baru dalam studi *Freight Generation*. Variabel ini digunakan untuk menyesuaikan dengan konteks wilayah studi kasus, di mana pulau internal sangat bergantung pada pelabuhan eksternal dan fokus penelitian ini adalah perjalanan internal-eksternal dan eksternal-internal.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, model terbaik untuk memprediksi *Freight Trip Attraction* dan *Freight Trip Production* di Kabupaten Kepulauan Seribu menggunakan variabel bebas jumlah penduduk (X_2) dan jarak terdekat ke Pulau Jawa (X_3). Model terpilih untuk *Freight Trip Attraction* adalah $FTA = 4,017 - 0,08X_3$ dan $FTA = 0,001X_2 - 1,693E-7X_2^2$. Sedangkan model regresi terbaik untuk memprediksi *Freight Trip Production* adalah $FTP = 3,934 - 0,091X_3$ dan $FTP = 3,627 + 0,000178X_2 - 0,104X_3$. Model regresi ini memenuhi syarat baik dari uji signifikansi maupun uji asumsi klasik, termasuk

tidak adanya multikolinearitas, residu terdistribusi normal, dan tidak adanya gejala heteroskedastisitas.

DAFTAR PUSTAKA

- Armstrong dan Associates. 2021. *Global 3PL Market Size Estimates*. Armstrong & Associates.
- Badan Pusat Statistik DKI Jakarta. 2022. *BPS Provinsi DKI Jakarta*. Jakarta.
- Fernandes, R. dan Pinho, P. 2017. *The distinctive nature of spatial development on small islands*. Progress in Planning 112.
- Goldberg, A.S. 1991. *A Course in Econometrics*. Harvard University Press, Cambridge.
- Holguín-Veras, J., Jaller, M., Sánchez-Díaz, I., Campbell, S., dan Lawson, C.T. 2014. *Freight Generation and Freight Trip Generation Models*, in: *Modelling Freight Transport*. Elsevier: 43–63.
- Junaedi, T. 2022. *Forecasting of Freight Demand Transportation (Case Study in Lampung Province, Indonesia)*. IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 1232, 012008.
- Lembaga Teknologi (LEMTEK) FTUI, 2023. *Laporan Akhir Penyusunan Kajian Pergerakan Angkutan Perairan Kepulauan Seribu*.
- Li, J. 2017. *Assessing the accuracy of predictive models for numerical data: Not r nor r, why not? Then what?*. PLOS ONE.
- National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. 2016. *Using Commodity Flow Survey Microdata and Other Establishment Data to Estimate the Generation of Freight, Freight Trips, and Service Trips: Guidebook*. Washington, DC: The National Academies Press.
- Oliveira, L. K., Araújo, G. G. F., Bertoncini, B., Pedrosa, C. D., dan Silva, G. 2022. *Modelling Freight Trip Generation Based on Deliveries for Brazilian Municipalities*. Sustainability, 14 (16): 10300.
- Onyutha, C. 2020. *From R-squared to coefficient of model accuracy for assessing "goodness-of-fits"*.
- Pani, A., Sahu, P.K., Patil, G.R., dan Sarkar, A.K. 2018. *Modelling urban freight generation: A case study of seven cities in Kerala, India*. Transport Policy, 69: 49–64.
- Sahu, P.K. dan Pani, A. 2020. *Freight Generation and Geographical Effects: Modelling Freight Needs of Establishments in Developing Economies and Analyzing Their Geographical Disparities*. Transportation, 47: 2873–2902.
- Shalizi, C. 2015. *F-Tests, R², and Other Distractions*.