



Estimasi Volume Penumpang Pesawat Udara di Bandar Udara Internasional Adisutjipto Menggunakan Model *Gravity*

***Gunawan¹, Uyuunul Maudzoh¹, Bangga Dirgantara Adiputra², Okto Dinaryanto³**

¹Program Studi Teknik Industri, Institut Teknologi Dirgantara Adisutjipto, Bantul

²Program Studi Teknik Dirgantara, Institut Teknologi Dirgantara Adisutjipto, Bantul

³Program Studi Teknik Mesin, Institut Teknologi Dirgantara Adisutjipto, Bantul

^{*)}gunawan@itda.ac.id

Received: 27 Maret 2025 Revised: 20 Mei 2025 Accepted: 12 Juli 2025

Abstract

Demand forecasting is used by airlines to predict the travel behavior of potential passengers. Accurate forecasting is critical to the overall success of an airline. An important element in forecasting is passenger volume estimation. The goal is to predict the number of passengers expected between two cities for a given time interval. Based on this forecast, airlines can make decisions about new routes or additional flights on existing routes. Starting January 2020, all flights to Yogyakarta have landed at Yogyakarta International Airport (YIA) except for flights using propeller aircraft such as ATR which can still use Adisutjipto International Airport (JOG). Adisutjipto International Airport currently only serves 3 routes, namely Yogyakarta (JOG) - Jakarta (HLP) RT., Yogyakarta (JOG) - Bandung (BDO) RT., and Yogyakarta (JOG) - Surabaya (SUB) RT.. The opening of Adisutjipto International Airport to propeller aircraft makes it possible to increase flight frequencies or new routes. For that, it is necessary to estimate the volume of aircraft passengers at Adisutjipto International Airport using the gravity model. The most accurate model is Model 5, where the attraction force is separated into the number of residents of the origin and destination zones and the GRDP of the origin and destination zones, as well as the distance impedance factor and ticket rates are also separated.

Keywords: *Estimation, volume, passengers, aircraft, gravity model*

Abstrak

Perkiraan permintaan digunakan oleh maskapai penerbangan untuk memprediksi perilaku perjalanan calon penumpang. Perkiraan yang akurat sangat penting bagi kesuksesan sebuah maskapai penerbangan secara keseluruhan. Elemen penting dalam peramalan adalah estimasi volume penumpang. Tujuannya adalah untuk memprediksi jumlah penumpang yang diharapkan antara dua kota untuk interval waktu tertentu. Berdasarkan perkiraan tersebut, maskapai penerbangan dapat mengambil keputusan mengenai rute baru atau penerbangan tambahan pada rute yang sudah ada. Mulai Januari 2020, semua penerbangan ke Yogyakarta telah mendarat di Bandar Udara Internasional Yogyakarta (YIA) kecuali untuk penerbangan yang menggunakan pesawat propeller seperti ATR masih bisa menggunakan Bandar Udara Internasional Adisutjipto (JOG). Bandar Udara Internasional Adisutjipto saat ini hanya melayani 3 rute yaitu Yogyakarta (JOG) – Jakarta (HLP) PP., Yogyakarta (JOG) – Bandung (BDO) PP. dan Yogyakarta (JOG) – Surabaya (SUB) PP. Terbukanya Bandar Udara Internasional Adisutjipto untuk pesawat propeller maka memungkinkan untuk menambah frekuensi penerbangan atau rute-rute baru. Untuk itu perlu memperkirakan volume penumpang pesawat udara di Bandar udara Internasional Adisutjipto menggunakan model gravity. Model yang paling akurat adalah Model 5, dimana Gaya tarik-menarik dipisah menjadi jumlah penduduk zona asal dan zona tujuan dan PDRB zona asal dan zona tujuan, demikian juga faktor impendesi jarak dan tarif tiket juga dipisah.

Kata kunci: *Estimasi, volume, penumpang, pesawat udara, model gravity*

Pendahuluan

Perkiraan permintaan volume penumpang digunakan oleh maskapai penerbangan untuk memprediksi perilaku perjalanan dari calon penumpang. Perkiraan yang akurat sangat penting bagi kesuksesan sebuah maskapai penerbangan secara keseluruhan. Elemen penting dalam peramalan adalah estimasi volume penumpang. Tujuannya adalah untuk memprediksi jumlah penumpang yang diharapkan antara dua kota untuk interval waktu tertentu. Berdasarkan perkiraan tersebut, maskapai penerbangan dapat mengambil keputusan mengenai rute baru atau penerbangan tambahan pada rute yang sudah ada.

Berbagai teknik tersedia untuk memperkirakan volume penumpang. Karena tidak ada satu teknik yang menjamin keakuratan, maskapai penerbangan sebenarnya hanya membandingkan prakiraan dari beberapa model berbeda. Dalam rangkaian metode peramalan ini, yang paling banyak digunakan adalah model *gravity*.

Salah satu metode estimasi perjalanan sudah dikembangkan dengan menggunakan metode faktor pertumbuhan (Amijaya & Suprayitno, 2018). Secara umum, pemodelan transportasi mengenal tiga kelompok: model langsung, model konvensional (yaitu model empat langkah penuh) dan model tidak konvensional (pemodelan berdasarkan data volume lalu lintas). Pemodelan transportasi empat langkah telah banyak dilakukan. Sedang model bangkitan perjalanan untuk perjalanan orang telah dilakukan, untuk angkutan barang dan angkutan umum juga telah dilakukan (Günay *et al.*, 2016; Krasić & Novačko, 2015; Shahri & Ghannadi, 2023).

Penelitian distribusi perjalanan juga telah banyak dilakukan dan mendalam, yaitu tentang distribusi perjalanan bertingkat, mengevaluasi formula distribusi perjalanan yang berbeda, mengevaluasi pola distribusi variabel perjalanan, dan menemukan formula yang tepat untuk fungsi hambatan (Abdel-Latif, 2019; Arifin *et al.*, 2019; Gunawan, 2018; Gunawan *et al.*, 2022). Penelitian tentang modal split dapat disebutkan sebagai berikut: mengembangkan modal split untuk Chennai, menemukan modal split yang efisien, korelasi antara penundaan moda perjalanan dan modal split, dan pendekatan yang berbeda pada perhitungan modal split (Jansson, 2001; Laganayagan & Umadevi, 2014; Matulin *et al.*, 2009). Sedangkan penelitian *traffic assignment* adalah mengembangkan metode untuk memvalidasi dan mengkalibrasi model *traffic assignment*. Model ini dikembangkan berdasarkan Data Origin Destination (OD) (Han, 2000; Jayakrishnan *et al.*, 1995).

Model transportasi empat langkah penuh tidak sesuai untuk memodelkan permintaan penumpang udara, karena berhubungan dengan pembangkitan perjalanan, pembagian moda, distribusi perjalanan dan pembebanan lalu lintas. Model *gravity* populer dalam pemodelan distribusi perjalanan dan dalam pemodelan interaksi ekonomi.

Prinsip *gravity model* juga sudah banyak digunakan dalam interaksi ekonomi antar wilayah, negara dan lain-lain (Anderson, 1979, 2016). Analisis telah dilakukan pada perdagangan dan investasi langsung di Negara-negara Tengah dan Eropa dengan menggunakan model *gravity* (Chaney, 2011). Kemudian model gravitasi juga telah digunakan dan dikembangkan untuk memodelkan kasus khusus perdagangan, melinierisasi rumus *gravity* dengan menggunakan rumus logit, serta menyelidiki karakteristik variabel (Christy, 2002; Egger & Pfaffermayr, 2011; Fally, 2015).

Berdasarkan penelitian-penelitian tersebut terlihat bahwa model *gravity* empat langkah yang banyak dilakukan, seperti model bangkitan perjalanan, distribusi perjalanan, modal split, dan *traffic assignment*. Maka, estimasi volume penumpang pesawat dalam penelitian ini, menggunakan model *gravity* langsung dengan jumlah penduduk dan produk domestik regional bruto (PDRB) digunakan untuk merepresentasikan daya tarik. Sedangkan jarak dan tarif tiket untuk merepresentasikan impedansi atau gesekan antara daerah asal dan tujuan. Model ini digunakan untuk mengestimasi volume penumpang pesawat udara tanpa pembagian moda dan pembebanan lalu lintas.

Mulai bulan Januari 2020, semua penerbangan ke Yogyakarta telah mendarat di Bandar Udara Internasional Yogyakarta (YIA) kecuali untuk penerbangan yang menggunakan pesawat propeller seperti ATR masih bisa menggunakan Bandar Udara Internasional Adisutjipto (JOG). Bandar Udara Internasional Adisutjipto saat ini hanya melayani tiga rute yaitu dari Yogyakarta (JOG) ke Jakarta (HLP) PP., dari Yogyakarta (JOG) ke Bandung (BDO) PP. dan dari Yogyakarta (JOG) ke Surabaya (SUB) PP.

Rute-rute yang dilayani dari Bandar Udara Internasional Adisutjipto adalah rute besar dengan pergerakan yang sangat tinggi. Hal ini dapat ditunjukkan dengan adanya nilai konektivitas yang tinggi (Gunawan & Medianto, 2016). Di samping itu jumlah penerbangan yang dilayani oleh bandar udara tersebut juga tinggi (Gunawan & Medianto, 2015). Dengan masih terbukanya Bandar Udara Internasional Adisutjipto untuk pesawat propeller maka memungkinkan untuk menambah frekuensi penerbangan atau rute-rute baru. Untuk itu perlu

memperkirakan volume penumpang pesawat udara di Bandar udara Internasional Adisutjipto ini.

Metode

Data penelitian

Data yang digunakan adalah data sekunder yang diperoleh dari Badan Pusat Statistik (BPS) Indonesia yaitu: 1) Data penumpang berangkat dari Bandar Udara Internasional Adisutjipto Yogyakarta tahun 2020-2022. 2) Data jumlah penduduk DI. Yogyakarta, DKI. Jakarta, Bandung dan sekitarnya serta Surabaya dan sekitarnya. 3) PDRB dari DI. Yogyakarta, DKI. Jakarta, Bandung dan sekitarnya serta Surabaya dan sekitarnya. 4) Jarak dari Yogyakarta ke Jakarta, dari Yogyakarta ke Bandung, dan dari Yogyakarta ke Surabaya. 5) Tarif tiket dari Yogyakarta ke Jakarta, dari Yogyakarta ke Bandung, dan dari Yogyakarta ke Surabaya.

Analisis data

Penelitian ini dimaksudkan untuk mengestimasi volume penumpang pesawat udara di Bandar Udara Internasional Adisutjipto dengan menggunakan model *gravity*. Gravitasi dasar mengikuti diktum bahwa gaya gravitasi adalah perkalian percepatan gravitasi dengan dua massa dibagi kuadrat jaraknya. Rumus dasar *gravity* disajikan pada Persamaan 1, (Tamin, 2000).

$$F_{id} = G \frac{m_i \times m_d}{a_{id}^2} \quad (1)$$

Dimana F_{id} adalah gaya gravitasi diantara kedua massa, G adalah konstanta gravitasi, M_i adalah massa dari I dan D_{id} adalah jarak antara kedua massa

Prinsip gravitasi dapat digunakan untuk mengekspresikan gaya tarik antara dua titik atau di antara titik. Gaya tarikan, antara dua area dapat berupa jumlah perjalanan, volume perdagangan, investasi, jumlah pengangkut, dll. Tiga komponen utama yang berperan dalam fenomena gaya tarikan ini, yaitu koefisien tarikan, massa tarikan, dan impedansi antara poin. Agar dapat digunakan untuk kasus umum, rumus gravitasi dasar ini harus dimodifikasi menjadi ungkapan yang mengandung: koefisien tarikan, massa tarikan, dan impedansi. Maka, Persamaan 1 diubah menjadi rumus gaya tarik umum pada Persamaan 2.

$$Z_{id} = K \times M_i^a \times M_d^b \times I_{i,d}^c \quad (2)$$

Dimana Z_{id} adalah gaya tarikan, K Adalah koefisien tarikan, M_i dalam massa dari I , I_{id} adalah impedansi antara I dan d , K, a, b, c, d adalah konstanta

Untuk tujuan mengungkapkan distribusi perjalanan di antara titik-titik yang berbeda, Persamaan 2 perlu

dimodifikasi menjadi rumus distribusi perjalanan gravitasi langsung umum yang dinyatakan sebagai Persamaan 3. Variabel tertentu dari rumus distribusi perjalanan gravitasi langsung umum di atas harus ditentukan. Untuk penelitian ini, massa atraksi didefinisikan sebagai jumlah penduduk dan ekonomi (produk domestik regional bruto, PDRB), sedangkan impedansi didefinisikan sebagai jarak dan tarif tiket. Oleh karena itu Persamaan 3 diubah menjadi Persamaan 4.

$$T_{id} \propto K \times M_i^a \times M_d^b \times I_{i,d}^c \quad (3)$$

Dimana T_{id} adalah jumlah perjalanan dari i ke d , K adalah koefisien tarikan, M_i adalah massa dari I , I_{id} Adalah impedansi antara i dan d , K, a, b, c adalah konstanta

$$T_{id} \propto K \times P_i^a \times P_d^b \times E_i^c \times E_d^e \times D_{i,d}^f \times Ta_{i,d}^g \quad (4)$$

Dimana T_{id} adalah jumlah perjalanan dari i ke d , K adalah koefisien Tarikan, P_i adalah jumlah Penduduk dari I , E_i adalah PDRB dari I , J_{id} adalah jarak antara i dan d , $Ta_{i,d}$ adalah tarif tiket antara i dan d , K, a, b, c, e, f, g adalah konstan

Skenario pemodelan untuk mengestimasi volume penumpang pesawat udara dilakukan dengan lima model sebagai berikut Model 1 adalah mengubah Persamaan 4 menjadi Persamaan 5, yang menggunakan impedansi fungsi pangkat, dengan gaya tarik tidak menggunakan fungsi pangkat. Sedang Model 2 mengubah Persamaan 4 menjadi Persamaan 6, dan menggunakan impedansi fungsi pangkat berbeda, dengan gaya tarik tidak menggunakan fungsi pangkat. Untuk Model 3 adalah mengubah Persamaan 4 menjadi Persamaan 7, dan menggunakan fungsi pangkat pada gaya tarik-menarik dan impedansi secara terpisah. Untuk Model 4 adalah dengan mengubah Persamaan 7 menjadi Persamaan 8, yang merupakan variasi langsung dari Model 3 dengan memberi daya pada gaya tarik-menarik secara terpisah antara i dan d . Gaya tarik-menarik berdasarkan zona asal dan tujuan. Pada Model 5 menggunakan fungsi pangkat secara terpisah pada seluruh gaya tarik-menarik dan impedansi seperti Persamaan 4.

$$T_{ij} = K (P_i P_d E_i E_d) (D_{id} T a_{id})^a \quad (5)$$

$$T_{ij} = K (P_i P_d E_i E_d) (D_{id})^a (T a_{id})^b \quad (6)$$

$$T_{ij} = K (P_i P_d)^a (E_i E_d)^b (D_{id})^c (T a_{id})^e \quad (7)$$

$$T_{ij} = K (P_i E_i)^a (P_d E_d)^b (D_{id})^c (T a_{id})^e \quad (8)$$

$$T_{ij} = K (P_i)^a (P_d)^b (E_i)^c (E_d)^e (D_{id})^f (T a_{id})^g \quad (9)$$

Uji kesesuaian model

Uji kesesuaian model dilakukan dengan *error sum of squares* (SSE), standar deviasi, *mean absolute percentage error* sebagai berikut:

Error sum of squares (SSE) merupakan variasi yang disebabkan oleh faktor selain hubungan antara X dan Y, atau variasi yang disebabkan oleh variabel selain X. Jumlah kesalahan kuadrat (SSE) sama dengan jumlah perbedaan kuadrat antara setiap nilai T_{id} yang diamati dan nilai T_{id} prediksi, sebagai Persamaan 10 (Walpole & Myers, 1995).

$$SSE = \sum (T_{id} - \hat{T}_{id})^2 \quad (10)$$

Dimana T_{id} adalah nilai T_{id} diamati dan \hat{T}_{id} adalah nilai T_{id} di Prediksi

Standar deviasi adalah suatu indikator kesalahan yang didasarkan pada total kuadratis dari simpangan antara hasil model pergerakan dengan hasil observasi yang dapat didefinisikan sebagai Persamaan 11 (Tamin, 2000). Uji kesesuaian model lain MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*) adalah persentase kesalahan absolut rata-rata. MAPE digunakan untuk mengukur ketepatan nilai dugaan model yang dinyatakan dalam bentuk rata-rata persentase absolut kesalahan. Secara matematis dapat ditulis sebagai Persamaan 12 (Assauri, 1984).

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N \sum_{d=1}^N [(T_{id} - \hat{T}_{id})^2]}{N(N-1)-1}} \quad (11)$$

$$MAPE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{|T_{id} - \hat{T}_{id}|}{T_{id}}}{n} \times 100\% \quad (12)$$

Dimana \hat{T}_{id} adalah pergerakan pada masa mendatang dari zona asal I ke zona tujuan d , T_{id} adalah pergerakan pada masa sekarang dari zona asal I ke zona tujuan d , n Adalah jumlah pasangan zona asal I ke zona tujuan d .

Hasil dan Pembahasan

Data yang diperlukan untuk pemodelan ini seluruhnya adalah data sekunder. Data tersebut merupakan data terkait penerbangan dan data terkait gaya tarik menarik. Data penerbangan terdiri dari jumlah penumpang, jarak tempuh dan tarif tiket pesawat. Data daya tarik terdiri dari data jumlah penduduk dan PDRB. Jumlah pergerakan penumpang domestik, jarak dan tarif tiket pesawat asal dan tujuan tahun 2022 seperti pada Tabel 1

Tabel 1. Jumlah penumpang, jarak dan tarif dari asal ke tujuan

Asal	Tujuan	Jumlah penumpang (per bulan)	Jarak (km)	Tarif (Rp)
JOG	HLP	1.692	426	1.330.000
JOG	SUB	1.360	402	1.255.000
JOG	BDO	845	330	1.098.000

Sumber: Badan Pusat Statistik Indonesia, 2023; Kementerian Perhubungan, 2016, 2019a

Data daya tarik terdiri dari data jumlah penduduk dan PDRB berdasarkan data Statistik Provinsi, Kabupaten dan Kota dalam angka tahun 2022. seperti pada Tabel 2 . Untuk daya tarik Surabaya dan Bandung baik jumlah penduduk maupun PDRB menggunakan data statistik kabupaten dan kota dengan jarak 50 km dari bandar udara. Jarak ini adalah jarak radius pelayanan bandar udara terhadap pasar penumpang pesawat udara (Kementerian Perhubungan, 2019b).

Tabel 2. Massa tarik-menarik

Daerah	Jumlah penduduk	PDRB (Milyar Rp.)
D.I. Yogyakarta	3.712.600	165.718,44
DKI Jakarta	10.640.510	3.188.539,02
Surabaya dan sekitarnya	11.485.221	1.419.381,15
Bandung dan sekitarnya	11.847.170	687.041,06

Sumber : (Badan Pusat Statistik, 2023).

Statistik jumlah penduduk dan PDRB Surabaya terdiri dari Kota Surabaya, Kabupaten Sidoarjo, Kabupaten Gresik, Kabupaten Mojokerto, Kota Mojokerto, Kabupaten Pasuruan, Kabupaten Bangkalan dan Kabupaten Lamongan. Jumlah penduduk dan PDRB untuk Bandung terdiri dari Kota Bandung, Kabupaten Bandung, Kabupaten Bandung Barat, Kabupaten Sumedang, Kabupaten Purwakarta dan Kabupaten Subang.

Pemodelan

Model gravitasi langsung mengikuti model yang umum digunakan, baik untuk pemodelan transportasi maupun pemodelan distribusi perdagangan. Model gravitasi langsung disajikan pada Persamaan 4. Lima model berbeda sebagai variasi model umum kemudian dikembangkan. Perbedaan kelimanya terletak pada pengelompokan kekuatannya. Pada model pertama, hanya impedansi yang diberi daya satu kali. Pada model kedua, impedansi diberi daya secara terpisah. Model ketiga merupakan perpanjangan dari model kedua, dengan membagi populasi dan PDBP menjadi dua kelompok. Model keempat merupakan variasi langsung dari model ketiga dengan memberi daya pada gaya tarik-menarik secara terpisah antara i dan d . Model kelima memisahkan semua gaya tarik-menarik.

Model 1

Model 1 menggunakan impedansi fungsi pangkat dengan gaya tarik tidak menggunakan fungsi pangkat seperti pada Persamaan 5. Kemudian dilakukan perhitungan dengan memasukkan nilai pangkat tertentu pada impedansi, sedangkan pada gaya tarik-

menarik tidak ada nilai pangkat dan dilakukan sampai mempunyai nilai SSE minimum. Iterasi dihentikan pada nilai SSE sebesar 167.360.

Akurasi prediksi permintaan penumpang rute Yogyakarta-Jakarta adalah baik dengan *error* sebesar 12,9%. Prediksi permintaan penumpang rute Yogyakarta-Surabaya juga baik, dengan *error* 23,9%. Demikian pula prediksi permintaan penumpang rute Yogyakarta-Bandung juga baik, dengan *error* 14,0%. Persamaan model disajikan pada Persamaan 13, dengan hasil perhitungan akurasi disajikan pada Tabel 3.

Model 2

Model 2 menggunakan impedansi fungsi pangkat berbeda dan gaya tarik tidak menggunakan fungsi pangkat, yaitu dengan Persamaan 6. Perhitungan dilakukan dengan memasukkan nilai pangkat berbeda pada impedansi sedangkan pada gaya tarik-menarik tidak ada nilai pangkat dan dilakukan sampai mempunyai nilai SSE minimum. Iterasi dihentikan pada nilai SSE sebesar 167.362.

Akurasi prediksi permintaan penumpang rute Yogyakarta-Jakarta adalah baik, dengan *error* sebesar 12,9%. Rute Yogyakarta-Surabaya baik, dengan *error* 23,9%, dan prediksi permintaan penumpang rute Yogyakarta - Bandung juga baik, dengan *error* 13,9%. Model disajikan pada Persamaan 14, dengan hasil perhitungan akurasi disajikan pada Tabel 4.

Model 3

Model 3 menggunakan fungsi pangkat pada gaya tarik-menarik dan impedansi secara terpisah yaitu Persamaan 7. Perhitungan dengan memasukkan nilai pangkat berbeda pada impedansi dan pada gaya tarik-menarik dilakukan secara terpisah untuk jumlah penduduk dan PDRB., sampai mempunyai nilai SSE minimum. Iterasi dihentikan pada nilai SSE sebesar 130.536. Akurasi prediksi permintaan penumpang Yogyakarta-Jakarta baik, dengan *error* sebesar 13,1%. Prediksi permintaan penumpang rute Yogyakarta-Surabaya baik, dengan *error* 20,6%, dan prediksi permintaan penumpang rute Yogyakarta-Bandung juga baik, dengan *error* 6,7%.

Model disajikan sebagai Persamaan 15, dan hasil perhitungan akurasi disajikan pada Tabel 5.

Model 4

Model 4 merupakan variasi langsung dari Model 3 dengan memberi daya pada gaya tarik-menarik secara terpisah antara *i* dan *d* seperti pada Persamaan 8. Gaya tarik-menarik berdasarkan zona, oleh karena itu jumlah penduduk dan PDRB diberdayakan sekaligus untuk setiap zona. Faktor impedansi juga terpisah. Iterasi dihentikan pada nilai SSE sebesar 121.120.

Prediksi permintaan penumpang rute Yogyakarta-Jakarta menghasilkan akurasi baik, dengan *error* sebesar 9,4%. Prediksi permintaan penumpang rute Yogyakarta-Surabaya baik, dengan *error* sebesar 22,3%. Sedangkan prediksi permintaan penumpang rute Yogyakarta - Bandung juga baik, dengan *error* 7,6%. Model disajikan sebagai Persamaan 16, dan hasil perhitungan akurasi disajikan pada Tabel 6.

Model 5

Model 5 menggunakan fungsi pangkat secara terpisah pada seluruh gaya tarik-menarik dan impedansi seperti pada Persamaan 9. Kemudian dilakukan perhitungan sampai mempunyai nilai SSE minimum. Iterasi dihentikan pada nilai SSE sebesar 88.986. Akurasi prediksi permintaan penumpang rute Yogyakarta - Jakarta baik, dengan *error* sebesar 7,8%. Akurasi prediksi permintaan penumpang rute Yogyakarta-Surabaya juga baik, dengan *error* 19,7%, dan rute Yogyakarta-Bandung juga baik, dengan *error* 0,4%. Model disajikan dengan persamaan 17, dan hasil perhitungan akurasi disajikan pada Tabel 7.

Perbandingan akurasi model

Akurasi prediksi permintaan penumpang untuk masing-masing rute dari kelima model tersebut sangat berbeda, yaitu *error* sebesar 7,8 - 13,1% untuk permintaan penumpang rute Yogyakarta-Jakarta, sebesar 19,7- 23,9% untuk rute Yogyakarta-Surabaya dan sebesar 0,4-14,0% untuk rute Yogyakarta-Bandung, dengan lima nilai SSE, SD dan MAPE yang berbeda pula.

$$T_{ij} = 1,00(E - 13)(P_i P_d E_i E_d)(D_{id} T a_{id})^{-1,0326} \quad (13)$$

$$T_{ij} = 1,00(E - 13) (P_i P_d E_i E_d)(D_{id})^{-1,0325} (T a_{id})^{-1,0326} \quad (14)$$

$$T_{ij} = 1,00(E - 12)(P_i P_d)^{0,9728} (E_i E_d)^{0,9463} (D_{id})^{-1,0325} (T a_{id})^{-1,0326} \quad (15)$$

$$T_{ij} = 1,00(E - 12)(P_i E_i)^{0,9965} (P_d E_d)^{0,9276} (D_{id})^{-1,0317} (T a_{id})^{-1,0318} \quad (16)$$

$$T_{ij} = 1,00(E - 12)(P_i)^{1,0467} (P_d)^{0,9638} (E_i)^{0,9555} (E_d)^{0,8726} (D_{id})^{-1,0375} (T a_{id})^{-1,0324} \quad (17)$$

Tabel 3. Perhitungan pergerakan penumpang dan akurasi Model 1

No	Rute	T _{id}	T _{id} '	D	D (%)	SSE	SD	MAPE (%)
1	JOG - HPL	1.692	1.910	218	12,9			
2	JOG - SUB	1.360	1.034	326	23,9	167.360	182,95	16,93
3	JOG - BDO	845	727	118	14,0			

Tabel 4. Perhitungan pergerakan penumpang dan akurasi Model 2

No	Rute	T _{id}	T _{id} '	D	D (%)	SSE	SD	MAPE (%)
1	JOG - HPL	1.692	1.911	219	12,9			
2	JOG - SUB	1.360	1.035	325	23,9	167.362	182,95	16,92
3	JOG - BDO	845	727	118	13,9			

Tabel 5. Perhitungan pergerakan penumpang dan akurasi Model 3

No	Rute	T _{id}	T _{id} '	D	D (%)	SSE	SD	MAPE (%)
1	JOG - HPL	1.692	1.914	222	13,1			
2	JOG - SUB	1.360	1.080	280	20,6	130.536	161,58	13,44
3	JOG - BDO	845	789	56	6,7			

Tabel 6. Perhitungan pergerakan penumpang dan akurasi Model 4

No	Rute	T _{id}	T _{id} '	D	D (%)	SSE	SD	MAPE (%)
1	JOG - HPL	1.692	1.851	159	9,4			
2	JOG - SUB	1.360	1.057	303	22,3	121.120	155,64	13,08
3	JOG - BDO	845	781	64	7,6			

Tabel 7. Perhitungan pergerakan penumpang dan akurasi Model 5

No	Rute	T _{id}	T _{id} '	D	D (%)	SSE	D	MAPE (%)
1	JOG - HPL	1.692	1.824	132	7,8			
2	JOG - SUB	1.360	1.092	268	19,7	88.986	133,41	9,28
3	JOG - BDO	845	842	3	0,4			

Tabel 8. Perbandingan akurasi model

Model	Error 1 (%)	Error 2 (%)	Error 3 (%)	SSE	SD	MAPE (%)
1	12,9	23,9	14,0	167.360	182,95	16,93
2	12,9	23,9	13,9	167.362	182,95	16,92
3	13,1	20,6	6,7	130.536	161,58	13,44
4	9,4	22,3	7,6	121.120	155,64	13,08
5	7,8	19,7	0,4	88.986	133,41	9,28

Menarik untuk mengkaji korelasi antara nilai SSE, SD dan MAPE dengan nilai *error*. Pemodelan menunjukkan bahwa secara umum semakin kecil nilai SSE, SD dan MAPE maka *error* semakin kecil pula. Dengan kata lain, SSE, SD dan MAPE yang lebih baik memberikan akurasi yang lebih baik. Model yang paling akurat adalah Model 5, dimana gaya tarik-menarik dipisah menjadi jumlah penduduk zona asal dan zona tujuan dan PDRB zona asal dan zona tujuan. demikian juga faktor impendensi jarak dan tarif tiket juga dipisah. Perbandingan akurasi model disajikan pada Tabel 8.

Berdasarkan perbandingan akurasi pada Tabel 8 tersebut, terlihat bahwa kelima model memiliki perbedaan signifikan dalam nilai SSE, SD, MAPE, dan tingkat kesalahan prediksi untuk setiap rute. Model 5 secara konsisten menunjukkan kinerja terbaik, dengan SSE terendah (88.986), SD terendah (133,41), dan MAPE terkecil (9,28%) dibandingkan model lainnya. Hasil ini menegaskan bahwa pemisahan seluruh komponen gaya tarik, yakni jumlah penduduk dan PDRB baik di zona asal maupun tujuan, serta pemisahan faktor impendansi jarak dan tarif tiket, mampu meningkatkan

ketepatan estimasi volume penumpang secara signifikan.

Pada beberapa penelitian variabel gaya tarik dan impedansi sering digabung atau disederhanakan. Pada penelitian ini yang menggunakan modifikasi model struktur *gravity*, membuktikan bahwa pemisahan komponen secara penuh dapat meningkatkan akurasi hasil estimasi. Analisis dilakukan pada periode 2020–2022, yakni masa transisi pasca-pemindahan sebagian besar penerbangan dari bandar udara Adisutjipto (JOG) ke bandar udara Yogyakarta International Airport (YIA). Dengan demikian, hasil pemodelan mencerminkan kondisi pasar yang terkini dan relevan untuk pengambilan keputusan strategis.

Hasil estimasi menunjukkan bahwa bandar udara Adisutjipto masih memiliki potensi strategis sebagai penghubung penerbangan jarak pendek sampai menengah dengan pesawat propeller. Beberapa implikasi strategis dapat diidentifikasi sebagai berikut:

Pertama, pengembangan rute dan frekuensi penerbangan dapat difokuskan pada pembukaan kembali rute menuju kota-kota sekunder. seperti Semarang, Denpasar (via propeller). Selain itu juga menuju kota-kota di Jawa Timur dan Jawa Barat yang belum dilayani bandar udara YIA., serta peningkatan frekuensi pada rute dengan tingkat kesalahan prediksi rendah, misalnya JOG–BDO (MAPE 0,4%). Kedua, pengaturan tarif yang lebih kompetitif pada rute sensitif, mengingat harga akan berpotensi mengurangi faktor impedansi biaya dan meningkatkan daya saing terhadap moda transportasi darat maupun kereta api. Ketiga, segmentasi pasar dapat diarahkan sehingga Bandar Udara Adisutjipto berperan sebagai hub penerbangan propeller/regional commuter untuk jarak di bawah 500 km, sementara bandar udara YIA fokus pada penerbangan jet jarak jauh dan internasional.

Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya memberikan kontribusi metodologis melalui pengembangan *gravity* model yang lebih akurat, tetapi juga menghasilkan rekomendasi strategi operasional dan kerangka regulasi yang dapat diimplementasikan untuk mendukung optimalisasi peran Bandar Udara Adisutjipto dalam mendukung Bandar Udara YIA.

Kesimpulan

Beberapa kesimpulan pokok dapat disampaikan sebagai berikut : a) Model yang paling akurat adalah Model 5, dimana gaya tarik-menarik dipisah menjadi jumlah penduduk zona asal dan zona tujuan

dan PDRB zona asal dan zona tujuan, demikian juga faktor impendesi jarak dan tarif tiket juga dipisah. b) Jumlah penduduk dan PDRB dapat dijadikan sebagai kekuatan tarik. c) Jarak dan tarif tiket dapat digunakan sebagai impedansi. d) Estimasi volume penumpang pesawat udara berangkat dari Bandar Udara Adisutjipto tahun 2025 sebesar 5.945 penumpang per bulan.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada ITD Adisutjipto yang telah memberikan dukungan finansial terhadap penelitian ini melalui Program Penelitian ITDA

Daftar Pustaka

- Abdel-Latif, H. (2019). *Evaluation of Different Trip Distribution Formulations for Passenger and Freight Services in Egypt Research Gate*. Downloaded 18/08.
- Amijaya, J., & Suprayitno, H. (2018). Permodelan Bangkitan Dan Tarikan Perjalanan Moda Sepeda Motor Di Wilayah Perkotaan Gresik Tahun 2018. *Jurnal Manajemen Aset Infrastruktur&Fasilitas*, 2.
- Anderson, J. E. (1979). A theoretical foundation for the *gravity* equation. *The American Economic Review*, 69(1), 106–116.
- Anderson, J. E. (2016). The *gravity* model of economic interaction. *Boston College and NBER*, 3, 391–397.
- Arifin, T. S. P., Haryanto, B., & Ramadhani, U. N. (2019). Penyusunan Model Bangkitan Pergerakan Angkutan Barang di Provinsi Kalimantan Timur. *Jurnal Manajemen Aset Infrastruktur&Fasilitas*, 3.
- Assauri, S. (1984). Teknik dan metode peramalan. *Lembaga Penerbit FE UI, Jakarta*.
- Badan Pusat Statistik. (2023). Provinsi/Kabupaten/ Kota Dalam Angka 2022. *Badan Pusat Statistik*.
- Badan Pusat Statistik Indonesia. (2023). Statistik Transportasi Udara 2022. *Badan Pusat Statistik Indonesia*.
- Chaney, T. (2011). *The Gravity Equation in International Trade: An Explanation University of Chicago*. NBER and CEPR-p.
- Christy, E. (2002). Potential Trade in Southeast Europe: A *Gravity* Model Approach WIIW. *Working Papers* 21.

- Egger, P. H., & Pfaffermayr, M. (2011). *Structural estimation of gravity models with path-dependent market entry*.
- Fally, T. (2015). Structural gravity and fixed effects. *Journal of International Economics*, 97(1), 76–85.
- Gunawan, G. (2018). The Distribution of Aircraft Passenger Movements on Java Island Using the Gravity Model. *Conference SENATIK STT Adisutjipto Yogyakarta*, 4, 47–59.
- Gunawan, G., & Medianto, R. (2015). *Pemodelan Simulasi Jaringan Transportasi Udara Nasional. ReTII*.
- Gunawan, G., & Medianto, R. (2016). Analisis Konektivitas Jaringan Transportasi Udara Nasional. *Angkasa: Jurnal Ilmiah Bidang Teknologi*, 8(2), 99–110.
- Gunawan, G., Setiabudi, D. H., & Utomo, B. W. (2022). Distribusi Pergerakan Penumpang Pesawat Udara di Pulau Jawa Menggunakan Model Furness. *Aviation Electronics, Information Technology, Telecommunications, Electricals, Controls*, 4(1), 123–136.
- Günay, G., Ergün, G., & Gökaşar, I. (2016). Conditional Freight Trip Generation modelling. *Journal of Transport Geography*, 54, 102–111. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2016.05.013>
- Han, R. (2000). Calibration of parameters for a combined gravity and traffic assignment model. *Progress in Optimization: Contributions from Australasia*, 287–303.
- Jansson, J. O. (2001). *Efficient modal split*.
- Jayakrishnan, R., Tsai, W. K., & Chen, A. (1995). A dynamic traffic assignment model with traffic-flow relationships. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 3(1), 51–72. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0968-090X\(94\)00015-W](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0968-090X(94)00015-W)
- Kementerian Perhubungan. (2016). *Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor PM 14 Tahun 2016 tentang Mekanisme Formulasi Perhitungan dan Penetapan Tarif Batas Atas dan Bawah Penumpang Pelayanan Kelas Ekonomi Angkutan Udara Niaga Berjadwal Dalam Negeri*. Kementerian Perhubungan.
- Kementerian Perhubungan. (2019a). *Keputusan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor KM 72 Tahun 2019 tentang Tarif Batas Atas Penumpang Pelayanan Kelas Ekonomi Angkutan Udara Niaga Berjadwal Dalam Negeri*. Kementerian Perhubungan.
- Kementerian Perhubungan. (2019b). *Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor PM 39 Tahun 2019 tentang Tatanan Kemandarudaraan Nasional*. Kementerian Perhubungan.
- Krasić, D., & Novačko, L. (2015). The Impact of Public Transport Network Accessibility on Trip Generation Model. *Promet-Traffic & Transportation*, 27(2), 165–172.
- Laganayagan, S., & Umadevi, G. (2014). Development of Modal Split Modelling for Chennai. *International Journal of Modern Trends in Engineering and Sciences*, 1(6), 23–27.
- Matulin, M., Bosnjak, I., & Simunovic, L. (2009). Different approaches to the modal split calculation in urban areas. *University of Zagreb: Zagreb, Croatia*.
- Shahri, M., & Ghannadi, M. A. (2023). Explanatory Analyses of Work Trip Generation Using Mixed Geographically Weighted Regression (mgwr). *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 10, 707–714.
- Tamin, O. Z. (2000). *Perencanaan dan pemodelan transportasi*. Penerbit ITB.
- Walpole, R. E., & Myers, R. H. (1995). *Ilmu peluang dan Statistika untuk Insinyur dan Ilmuwan*. Penerbit ITB.