

Distribusi Pergerakan Penumpang Pesawat Udara di Pulau Jawa Menggunakan Model Furness

Gunawan^{1*)}, Dedet Hermawan Setiabudi²⁾, Bagus Wahyu Utomo³⁾

¹⁾ Program Studi Teknik Dirgantara, Institut Teknologi Dirgantara Adisutjipto, Yogyakarta

²⁾ Program Studi Teknik Mesin, Institut Teknologi Dirgantara Adisutjipto, Yogyakarta

³⁾ Program Studi Teknik Industri, Institut Teknologi Dirgantara Adisutjipto, Yogyakarta

*email: gunawan@itda.ac.id

Abstract

The movement needs that always increases will cause some problems, especially people are heading to the same destination of the certain area at the same time. To reduce the problems caused by the increase in the number of movements, it is necessary to analyze the future distribution of aircraft passenger movements. The research model is the distribution of aircraft passenger movements in Java Island using the Furness model. In this case, it is found that the Furness model is the best method because have a standard deviation and mean absolute percentage error to the smallest. It could be concluded that the Furness model is more accurate when compared to the Gravity Model (DGCR) with tanner obstacle function in estimating the distribution of movements in 2025 in Java Island.

Keywords — Distribution, Furness, Model, Movement.

1. Pendahuluan

Pulau Jawa mempunyai wilayah yang luas serta pertumbuhan penduduk yang meningkat setiap tahunnya akan berdampak pada peningkatan kebutuhan terhadap alat transportasi. Transportasi udara merupakan salah satu alternatif moda transportasi untuk menjangkau berbagai wilayah dengan cepat dan tepat di Pulau Jawa. Keunggulan transportasi udara dibandingkan dengan moda transportasi lain yakni perjalanan jarak jauh, kecepatan lebih tinggi, dan bisa menjangkau daerah yang terpencil. Jarak yang jauh dapat dikaitkan secara positif dengan kecenderungan untuk melakukan perjalanan melalui udara, karena hal itu mempengaruhi daya tarik pengganti utama untuk perjalanan udara, yaitu transportasi jalan raya dengan mobil pribadi atau bus [1].

Kebutuhan pergerakan yang selalu meningkat akan menimbulkan permasalahan, terlebih pada saat yang sama manusia menuju tujuan yang sama ke daerah tertentu [2]. Bandar udara sebagai simpul pergerakan di pulau Jawa sebagian besar merupakan bandar udara dengan pergerakan yang sangat tinggi, hal ini dapat ditunjukkan dengan adanya nilai indikator konektivitas yang tinggi [3]. Disamping itu jumlah penerbangan domestik yang dilayani oleh bandar udara di pulau Jawa juga tinggi [4]. Untuk mengurangi permasalahan dari akibat peningkatan jumlah pergerakan, perlu dilakukan analisis pergerakan pada masa yang akan datang, sehingga bandar udara dapat mempersiapkan sarana dan prasarana yang dibutuhkan. Perencanaan sarana dan prasarana bandar udara harus didasarkan pada prediksi permintaan penumpang, dan distribusi pergerakan merupakan dasar untuk memprediksi kondisi masa yang akan datang [5].

Penerapan model tergantung pada keandalan hasil, yang menjadi masalah utama bagi penelitian [6]. Kecocokan model yang dipakai untuk memperkirakan distribusi pergerakan yang akan datang sangat tergantung dari metode yang dipakai. Untuk mendapatkan model terbaik dapat dilakukan uji kesesuaian matriks dengan perhitungan Standar Deviasi (SD). Pemodelan distribusi pergerakan penumpang pesawat udara di pulau Jawa menggunakan model *Gravity* dengan fungsi hambatan eksponensial-negatif, pangkat dan tanner masih mempunyai nilai

Standar Deviasi (SD) lebih dari 119.785 [7], sehingga kesalahan perkiraan pergerakan dengan model *Gravity* masih tinggi.

Untuk itu perlu analisis distribusi pergerakan penumpang pesawat udara dengan menggunakan metode lain yang mempunyai kesalahan model yang lebih kecil. Dalam penelitian ini akan digunakan model Furness untuk memperkirakan distribusi pergerakan penumpang pesawat udara tahun 2025 di pulau Jawa.

2. Metode Penelitian

Objek pada penelitian ini adalah distribusi pergerakan penumpang pesawat udara pada delapan bandar udara di Pulau Jawa, yaitu Bandar Udara International Soekarno-Hatta Tangerang (CGK), Bandar Udara Internasional Halim Perdanakusuma Jakarta (HLM), Bandar Udara Husein Sastra Negara Bandung (BDO), Bandar Udara Internasional Yogyakarta (YIA)/Bandar Udara Adisutjipto Yogyakarta (JOG), Bandar Udara International Ahmad Yani Semarang (SRG), Bandar Udara Internasional Adi Sumarmo Solo (SOC), Bandar Udara International Juanda Surabaya (SUB), dan Bandar Udara Abdulrahman Saleh Malang (MLG)

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data sekunder dari Badan Pusat Statistik (BPS) Indonesia yaitu data penumpang pesawat udara domestik yang datang dan berangkat di masing-masing bandar udara menuju masing-masing bandar udara tahun 2008-2020.

Adapun teknik pengolahan data dalam penelitian ini adalah:

2.1 Perhitungan Bangkitan dan Tarikan Pergerakan

Untuk menghitung bangkitan dan tarikan pergerakan di masing-masing bandar udara untuk tahun rencana menggunakan metode *trend linear* [8] sebagaimana persamaan berikut.

$$A = \bar{Y} - B \cdot \bar{X} \quad (1)$$

$$B = \frac{N \sum_{i=1}^N (X_i Y_i) - \sum_{i=1}^N (X_i) \cdot \sum_{i=1}^N (Y_i)}{N \sum_{i=1}^N (X_i^2) - \left(\sum_{i=1}^N (X_i) \right)^2} \quad (2)$$

$$Y = A + B \cdot X \quad (3)$$

Dimana :

Y = jumlah penumpang pesawat udara

X = banyaknya tahun

A = konstanta regresi

B = koefisien regresi

\bar{Y} = nilai rata-rata jumlah penumpang

\bar{X} = nilai rata-rata jumlah banyaknya tahun

2.2 Analisis Distribusi Pergerakan

Furness [9] mengembangkan metode yang sering digunakan dalam perencanaan transportasi. Model Furness digunakan untuk *trip distribution* masa yang akan datang antara zona- i dan zona- d . Model ini dikembangkan dalam usaha mengatasi kekurangan metode sebelumnya dan sekaligus mengurangi waktu operasi komputer. Keunggulan model ini di bandingkan terhadap Model *Gravity* (DGCR) pengolahan datanya lebih sederhana [10]. Pada metode ini, distribusi pergerakan masa yang akan mendatang didapatkan dengan cara

mengalikan distribusi pergerakan pada saat sekarang dengan tingkat pertumbuhan zona asal atau zona tujuan yang dilakukan secara bergantian. Secara matematis, metode Furness dapat dinyatakan dalam persamaan berikut [9].

$$T_{id} = t_{id} \cdot E_i \quad (4)$$

Dimana :

T_{id} = pergerakan pada masa mendatang dari zona asal i ke zona tujuan d

t_{id} = pergerakan pada masa sekarang dari zona asal i ke zona tujuan d

E_i = faktor pertumbuhan di zona asal i

E_d = faktor pertumbuhan di zona tujuan d .

2.3 Uji Kesuaian Model

Uji kesesuaian model 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 [9]:

$$SD = \sqrt{\sum_{i=1}^N \sum_{d=1}^N \left[\frac{(\hat{T}_{id} - T_{id})^2}{N(N-1)-1} \right]} \quad (5)$$

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 berikut [11]:

$$MAPE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{|T_{id} - \hat{T}_{id}|}{T_{id}}}{n} \times 100\% \quad (6)$$

Dimana :

\hat{T}_{id} = pergerakan pada masa mendatang dari zona asal i ke zona tujuan d

T_{id} = pergerakan pada masa sekarang dari zona asal i ke zona tujuan d

n = Jumlah pasangan zona asal i ke zona tujuan d

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Data Pergerakan antar Zona

Berdasarkan data yang diperoleh dari Statistik Transportasi Badan Pusat Statistik (BPS) [12], dapat diketahui jumlah pergerakan penumpang pesawat udara domestik asal dan tujuan tahun 2020 pada Tabel 1.

Tabel 1. Data jumlah pergerakan penumpang tahun 2020

No	Bandar Udara		Penumpang Tahun 2020
	Asal	Tujuan	
1	HLP	BDO	10.189
2	HLP	SRG	62.807
3	HLP	JOG/YIA	123.318
4	HLP	SOC	54.146
5	HLP	SUB	153.826
6	HLP	MLG	69.927
7	CGK	SRG	308.349
8	CGK	JOG/YIA	391.660
9	CGK	SOC	138.575
10	CGK	SUB	764.027
11	CGK	MLG	60.076
12	BDO	HLP	20.490
13	BDO	SRG	13.652
14	BDO	JOG/YIA	18.763
15	BDO	SOC	1.917
16	BDO	SUB	29.044
17	SRG	HLP	62.658
18	SRG	CGK	316.108
19	SRG	BDO	10.074
20	SRG	SUB	33.313
21	JOG/YIA	HLP	154.282
22	JOG/YIA	CGK	411.470
23	JOG/YIA	BDO	20.107
24	JOG/YIA	SUB	30.033
25	SOC	HLP	53.351
26	SOC	CGK	157.166
27	SOC	BDO	1.632
28	SOC	SUB	1.724
29	SUB	HLP	148.864
30	SUB	CGK	723.486
31	SUB	BDO	21.506
32	SUB	SRG	17.551
33	SUB	JOG/YIA	13.716
34	SUB	SOC	448
35	MLG	CGK	109.641
Jumlah			4.507.896

3.2 Data Bangkitan dan Tarikan

Berdasarkan data yang diperoleh dari Statistik Transportasi Badan Pusat Statistik (BPS) [12], dapat diketahui jumlah pergerakan penumpang pesawat udara domestik asal dan tujuan tahun 2020. Setelah itu direkapitulasi untuk mendapatkan jumlah bangkitan dan tarikan penumpang pesawat udara dari setiap zona dengan cara menjumlahkan masing-masing zona asal dan tujuan. Hasil rekapitulasi bangkitan dan tarikan penumpang pesawat udara tahun 2020 pada Tabel 2.

Tabel 2. Rekapitulasi bangkitan dan tarikan penumpang domestik pesawat udara tahun 2020 di pulau Jawa

Bandar Udara (Zona)	Bangkitan Tahun 2020	Tarikan Tahun 2020
HLP	474.213	439.645
CGK	1.662.687	1.717.871
BDO	83.866	63.508
SRG	422.153	402.359
JOG/YIA	615.892	547.457
SOC	213.873	195.086
SUB	925.571	1.011.967
MLG	109.641	130.003
Jumlah	4.507.896	4.507.896

3.3 Pemodelan Bangkitan dan Tarikan

Menggunakan metode trend linear seperti dalam (1), (2) dan (3), data statistik penumpang domestik pesawat udara asal dan tujuan tahun 2008 sampai dengan tahun 2020 [12-24] dan memperhitungkan dampak pandemi Covid-19 yang mempengaruhi pergerakan masyarakat, dapat diramalkan dalam bentuk proyeksi *trend linear*. Pada tahun 2020 pergerakan penumpang setiap rute di pulau Jawa hanya 23% dibandingkan tahun 2018, sehingga faktor ini akan dimasukkan dalam model. Model hasil peramalan menggunakan *trend linear* dihitung untuk mendapatkan trip generation 2020 dan 2025.

Hasil pemodelan bangkitan dan tarikan pergerakan penumpang pesawat udara masing-masing zona tahun 2020 dan 2025 pada Tabel 3.

Tabel 3. Model Bangkitan dan Tarikan Tahun 2020 dan 2025

Bandar Udara (Zona)	Model Bangkitan		Model Tarikan	
	Tahun 2020	Tahun 2025	Tahun 2020	Tahun 2025
HLP	1.101.506	1.887.849	949.387	1.630.754
CGK	1.383.878	1.693.679	1.442.692	1.673.622
BDO	181.457	286.598	211.110	339.458
SRG	515.974	721.766	508.945	738.720
JOG/YIA	678.765	948.671	609.443	842.670
SOC	357.595	549.761	356.651	559.825
SUB	948.485	1.211.620	1.144.342	1.604.076
MLG	279.193	447.658	224.282	358.477
Jumlah	5.446.852	7.747.602	5.446.852	7.747.602

Pada Tabel 3 terlihat bahwa bangkitan dan tarikan penumpang pesawat udara di semua bandar udara mengalami kenaikan.

3.4 Perhitungan *Trip Distribution* dengan Model Furness Tahun 2020

Diperlukan perhitungan pengulangan MAT model Furness 2020 dengan bangkitan dan tarikan untuk mengetahui nilai standar deviasi (SD) dan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE). Setelah dilakukan perhitungan MAT model Furness tahun 2020 diperoleh pada pengulangan ke-139. MAT awal model Furness Tahun 2020 tersaji dalam Tabel 4.

Tabel 4. MAT Awal Model Furness Tahun 2020

ZONA	HLP	CGK	BDO	SRG	JOG/YIA	SOC	SUB	MLG	o_i	O_i	E_i
HLP	-	-	10.189	62.807	123.318	54.146	153.826	69.927	474.213	1.101.506	2,32281
CGK	-	-	-	308.349	391.660	138.575	764.027	60.076	1.662.687	1.383.878	0,83231
BDO	20.490	-	-	13.652	18.763	1.917	29.044	-	83.866	181.457	2,16365
SRG	62.658	316.108	10.074	-	-	-	33.313	-	422.153	515.974	1,22224
JOG/YIA	154.282	411.470	20.107	-	-	-	30.033	-	615.892	678.765	1,10209
SOC	53.351	157.166	1.632	-	-	-	1.724	-	213.873	357.595	1,67199
SUB	148.864	723.486	21.506	17.551	13.716	448	-	-	925.571	948.485	1,02476
MLG	-	109.641	-	-	-	-	-	-	109.641	279.193	2,54642
d_d	439.645	1.717.871	63.508	402.359	547.457	195.086	1.011.967	130.003	4.507.896		
D_d	949.387	1.442.692	211.110	508.945	609.443	356.651	1.144.342	224.282		5.446.852	
E_d	2,15944	0,83981	3,32414	1,26490	1,11323	1,82817	1,13081	1,72520			1,20829

Berdasarkan MAT awal model Furness tahun 2020 pada Tabel 4, perhitungan nilai T_{id} untuk pengulangan ke-1, didapat dengan mengalikan sel MAT pada saat sekarang dengan tingkat pertumbuhan zona asal (E_i):

$$T_{13}^1 = t_{13}^0 \times E_1^0 = 10.189 \times 2,32281 = 23.667$$

$$T_{14}^1 = t_{14}^0 \times E_1^0 = 62.807 \times 2,32281 = 145.889$$

.

.

$$T_{82}^1 = t_{82}^0 \times E_1^0 = 109.641 \times 2,54642 = 279.293$$

Setelah menghitung nilai T_{id} , maka dapat dihitung kembali nilai o_i dan d_d serta nilai E_i , E_d , dan E untuk pengulangan ke-1, hasil selengkapnya tersaji dalam Tabel 5.

Tabel 5. MAT Pengulangan ke-1 Model Furness Tahun 2020

ZONA	HLP	CGK	BDO	SRG	JOG/YIA	SOC	SUB	MLG	o_i	O_i	E_i
HLP	-	-	23.667	145.889	286.444	125.771	357.308	162.427	1.101.506	1.101.506	1,00000
CGK	-	-	-	256.643	325.984	115.338	635.911	50.002	1.383.878	1.383.878	1,00000
BDO	44.333	-	-	29.538	40.597	4.148	62.841	-	181.457	181.457	1,00000
SRG	76.583	386.361	12.313	-	-	-	40.717	-	515.974	515.974	1,00000
JOG/YIA	170.032	453.475	22.160	-	-	-	33.099	-	678.765	678.765	1,00000
SOC	89.203	262.781	2.729	-	-	-	2.883	-	357.595	357.595	1,00000
SUB	152.549	741.397	22.038	17.985	14.056	459	-	-	948.485	948.485	1,00000
MLG	-	279.193	-	-	-	-	-	-	279.193	279.193	1,00000
d_d	532.700	2.123.206	82.907	450.056	667.081	245.716	1.132.758	212.429	5.446.852		
D_d	949.387	1.442.692	211.110	508.945	609.443	356.651	1.144.342	224.282		5.446.852	
E_d	1,78222	0,67949	2,54635	1,13085	0,91360	1,45148	1,01023	1,05580			1,00000

Selanjutnya, pada pengulangan ke-2, sel MAT yang dihasilkan pada pengulangan ke-1 dikalikan dengan tingkat pertumbuhan zona tujuan (E_d) untuk menghasilkan MAT pengulangan ke-2.

$$T_{13}^2 = t_{13}^1 \times E_2^1 = 23.667 \times 2,54635 = 60.265$$

$$T_{14}^2 = t_{14}^1 \times E_2^1 = 145.889 \times 1,13085 = 164.978$$

.

.

$$T_{82}^2 = t_{82}^1 \times E_2^1 = 279.193 \times 0,67949 = 189.708$$

Setelah menghitung nilai T_{id} , maka dapat dihitung kembali nilai o_i dan d_d serta nilai E_i , E_d , dan E untuk pengulangan ke-2, hasil selengkapnya tersaji dalam Tabel 6.

Tabel 6. MAT Pengulangan ke-2 Model Furness Tahun 2020

ZONA	HLP	CGK	BDO	SRG	JOG/YIA	SOC	SUB	MLG	o_i	O_i	E_i
HLP	-	-	60.265	164.978	261.695	182.553	360.962	171.490	1.201.943	1.101.506	0,91644
CGK	-	-	-	290.225	297.819	167.411	642.414	52.792	1.450.660	1.383.878	0,95396
BDO	79.011	-	-	33.403	37.089	6.020	63.484	-	219.008	181.457	0,82854
SRG	136.488	262.527	31.353	-	-	-	41.133	-	471.501	515.974	1,09432
JOG/YIA	303.034	308.131	56.426	-	-	-	33.437	-	701.028	678.765	0,96824
SOC	158.978	178.556	6.948	-	-	-	2.912	-	347.395	357.595	1,02936
SUB	271.876	503.770	56.118	20.339	12.841	666	-	-	865.610	948.485	1,09574
MLG	-	189.708	-	-	-	-	-	-	189.708	279.193	1,47170
d_d	949.387	1.442.692	211.110	508.945	609.443	356.651	1.144.342	224.282	5.446.852		
D_d	949.387	1.442.692	211.110	508.945	609.443	356.651	1.144.342	224.282		5.446.852	
E_d	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000			1,00000

Hal tersebut dilakukan terus menerus secara bergantian sehingga total sel MAT yang dihasilkan (baris ataupun kolom) sesuai dengan yang diinginkan yakni nilai E (tingkat pertumbuhan total zona i dan d) bernilai 1. Tabel MAT yang dihasilkan model Furness (setelah pembulatan) setelah pengulangan ke-139, hasil selengkapnya tersaji dalam Tabel 7.

Tabel 7. MAT pengulangan ke-139 model Furness Tahun 2020

ZONA	HLP	CGK	BDO	SRG	JOG	SOC	SUB	MLG	o_i	O_i	E_i
HLP	-	-	802	138.182	221.203	117.202	350.847	111.166	939.402	939.402	1,00000
CGK	-	-	-	1.000.346	1.444.958	549.870	2.421.391	245.265	5.661.831	5.661.831	1,00000
BDO	257	-	-	52.675	129.942	24.586	117.744	-	325.204	325.204	1,00000
SRG	144.468	1.147.135	36.190	-	-	-	240.749	-	1.568.542	1.568.542	1,00000
JOG	60.454	1.654.569	76.805	-	-	-	194.310	-	1.986.140	1.986.140	1,00000
SOC	121.730	639.381	17.617	-	-	-	42.516	-	821.246	821.246	1,00000
SUB	371.410	2.550.776	269.239	165.788	145.458	31.057	-	-	3.533.728	3.533.728	1,00000
MLG	-	389.369	-	-	-	-	-	-	389.370	389.370	1,00000
d_d	698.318	6.381.231	400.654	1.356.990	1.941.561	722.714	3.367.558	356.432	15.225.458		
D_d	698.318	6.381.231	400.654	1.356.990	1.941.561	722.715	3.367.558	356.432		15.225.458	
E_d	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000			1,00000

Hasil perhitungan *trip distribution* pengulangan ke-139 pada Tabel 7 nilai E (tingkat pertumbuhan total zona i dan d) sudah bernilai 1, sehingga distribusi pergerakan penumpang pada tahun 2020 menggunakan model Furness dari bandar udara asal ke tujuan sudah didapatkan.

3.5 Uji Model

Berdasarkan distribusi pergerakan penumpang tahun 2020 pada Tabel 1 dan distribusi pergerakan penumpang tahun 2020 menggunakan model Furness pada Tabel 7, maka Uji model *Trip Distribution* dapat dihitung menggunakan Standar Deviasi (SD) dan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE). Untuk menghitung Standar Deviasi (SD) dan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) perlu menghitung *Square Error* dan *absolute Error* seperti pada Tabel 8.

Tabel 8. Perhitungan *Square Error* dan *Absolute Error* Model Furness tahun 2020

No	Zona		Penumpang Tahun 2020	Penumpang Tahun 2020 (Model Furness)	<i>Square Error</i>	<i>absolute Error</i> $\left(\frac{ T_{id}-\hat{T}_{id} }{T_{id}}\right)$
	Asal	Tujuan				
1	HLP	BDO	10.189	29.928	389.640.241	1,94
2	HLP	SRG	62.807	151.426	7.853.370.718	1,41
3	HLP	JOG/YIA	123.318	247.734	15.479.354.637	1,01
4	HLP	SOC	54.146	178.936	15.572.483.811	2,30
5	HLP	SUB	153.826	323.298	28.720.679.893	1,10
6	HLP	MLG	69.927	170.184	10.051.390.661	1,43
7	CGK	SRG	308.349	275.071	1.107.435.359	0,11
8	CGK	JOG/YIA	391.660	291.124	10.107.572.844	0,26
9	CGK	SOC	138.575	169.443	952.855.877	0,22
10	CGK	SUB	764.027	594.142	28.860.760.628	0,22
11	CGK	MLG	60.076	54.098	35.734.120	0,10
12	BDO	HLP	20.490	38.056	308.575.455	0,86
13	BDO	SRG	13.652	34.207	422.488.518	1,51
14	BDO	JOG/YIA	18.763	39.172	416.546.974	1,09
15	BDO	SOC	1.917	6.584	21.778.431	2,43
16	BDO	SUB	29.044	63.438	1.182.942.030	1,18
17	SRG	HLP	62.658	144.421	6.685.206.213	1,30
18	SRG	CGK	316.108	243.092	5.331.326.251	0,23
19	SRG	BDO	10.074	38.163	788.986.842	2,79
20	SRG	SUB	33.313	90.297	3.247.231.363	1,71
21	JOG/YIA	HLP	154.282	290.948	18.677.493.801	0,89
22	JOG/YIA	CGK	411.470	258.892	23.279.999.285	0,37
23	JOG/YIA	BDO	20.107	62.321	1.781.995.211	2,10
24	JOG/YIA	SUB	30.033	66.605	1.337.502.154	1,22
25	SOC	HLP	53.351	172.655	14.233.452.435	2,24
26	SOC	CGK	157.166	169.698	157.048.158	0,08
27	SOC	BDO	1.632	8.680	49.680.641	4,32
28	SOC	SUB	1.724	6.561	23.398.272	2,81
29	SUB	HLP	148.864	303.307	23.852.605.216	1,04
30	SUB	CGK	723.486	491.817	53.670.350.927	0,32
31	SUB	BDO	21.506	72.017	2.551.404.390	2,35
32	SUB	SRG	17.551	48.242	941.917.347	1,75
33	SUB	JOG/YIA	13.716	31.413	313.195.790	1,29
34	SUB	SOC	448	1.688	1.537.250	2,77
35	MLG	CGK	109.641	279.193	28.747.716.295	1,55
Jumlah					307.155.658.039	48,28

Dari Tabel 8 dapat dihitung nilai SD dan MAPE sebagai berikut.

$$SD = \sqrt{\sum_{i=1}^N \sum_{d=1}^N \left[\frac{(\hat{T}_{id} - T_{id})^2}{N(N-1) - 1} \right]} = 74.731$$

$$MAPE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{|T_{id} - \hat{T}_{id}|}{T_{id}}}{n} = 137,94\%$$

Setelah dilakukan perhitungan SD dan MAPE dari model Furness dan model *Gravity Double Constrain* (DCGR) dengan fungsi hambatan Tanner [7], maka disajikan perbandingan nilai Standar Deviasi (SD) pada Tabel 9.

Tabel 9. Perbandingan Nilai SD dan MAPE pada Model DCGR dan Furness

No	Model	SD	MAPE
1	DCGR dengan Fungsi Hambatan Tanner (biaya)	119.785,65	444,71%
2	Furness	74.731	137,94%

Dari dua model tersebut seperti pada Tabel 9, diperoleh model Furness merupakan model terbaik dengan nilai SD dan MAPE terkecil. Karena semakin kecil nilai SD dan MAPE, maka semakin akurat MAT hasil penaksiran dibandingkan MAT hasil pengamatan. Sehingga model Furness akurat untuk menaksir distribusi pergerakan penumpang pesawat udara 2025.

3.6 Proyeksi *Trip Distribution* dengan Model Furness pada Tahun 2025

Dengan model Furness, *trip distribution* pada masa mendatang didapatkan dengan mengasumsikan walaupun jumlah pergerakan dari zona i meningkat sesuai dengan tingkat pertumbuhan E_i , pergerakan ini harus juga disebar ke zona d sebanding dengan tingkat pertumbuhan global (E).

Tabel 10. MAT Awal Model Furness Tahun 2025

ZONA	HLP	CGK	BDO	SRG	JOG/YIA	SOC	SUB	MLG	o_i	O_i	E_i
HLP	-	-	10.189	62.807	123.318	54.146	153.826	69.927	474.213	1.887.849	3,98101
CGK	-	-	-	308.349	391.660	138.575	764.027	60.076	1.662.687	1.693.679	1,01864
BDO	20.490	-	-	13.652	18.763	1.917	29.044	-	83.866	286.598	3,41734
SRG	62.658	316.108	10.074	-	-	-	33.313	-	422.153	721.766	1,70973
JOG/YIA	154.282	411.470	20.107	-	-	-	30.033	-	615.892	948.671	1,54032
SOC	53.351	157.166	1.632	-	-	-	1.724	-	213.873	549.761	2,57050
SUB	148.864	723.486	21.506	17.551	13.716	448	-	-	925.571	1.211.620	1,30905
MLG	-	109.641	-	-	-	-	-	-	109.641	447.658	4,08294
d_d	439.645	1.717.871	63.508	402.359	547.457	195.086	1.011.967	130.003	4.507.896		
D_d	1.630.754	1.673.622	339.458	738.720	842.670	559.825	1.604.076	358.477		7.747.602	
E_d	3,70925	0,97424	5,34512	1,83597	1,53924	2,86963	1,58511	2,75746			1,71867

Berdasarkan MAT awal model Furness tahun 2025 pada Tabel 10, perhitungan nilai T_{id} untuk pengulangan ke-1, didapat dengan mengalikan sel MAT pada saat sekarang dengan tingkat pertumbuhan zona asal (E_i):

$$T_{13}^1 = t_{13}^0 \times E_1^0 = 10.189 \times 3,98101 = 40.563$$

$$T_{14}^1 = t_{14}^0 \times E_1^0 = 62.807 \times 3,98101 = 250.036$$

.

.

$$T_{82}^1 = t_{82}^0 \times E_1^0 = 109.641 \times 4,08294 = 447.658$$

Setelah menghitung nilai T_{id} , maka dapat dihitung kembali nilai o_i dan d_d serta nilai E_i , E_d , dan E untuk pengulangan ke-1, hasil selengkapnya tersaji dalam Tabel 11.

Tabel 11. MAT Pengulangan ke-1 Model Furness Tahun 2025

ZONA	HLP	CGK	BDO	SRG	JOG/YIA	SOC	SUB	MLG	o_i	O_i	E_i
HLP	-	-	40.563	250.036	490.931	215.556	612.384	278.380	1.887.849	1.887.849	1,00000
CGK	-	-	-	314.097	398.961	141.158	778.268	61.196	1.693.679	1.693.679	1,00000
BDO	70.021	-	-	46.653	64.119	6.551	99.253	-	286.598	286.598	1,00000
SRG	107.128	540.458	17.224	-	-	-	56.956	-	721.766	721.766	1,00000
JOG/YIA	237.644	633.795	30.971	-	-	-	46.260	-	948.671	948.671	1,00000
SOC	137.139	403.995	4.195	-	-	-	4.432	-	549.761	549.761	1,00000
SUB	194.871	947.080	28.152	22.975	17.955	586	-	-	1.211.620	1.211.620	1,00000
MLG		447.658	-	-	-	-	-	-	447.658	447.658	1,00000
d_d	746.802	2.972.987	121.105	633.761	971.966	363.852	1.597.553	339.576	7.747.602		
D_d	1.630.754	1.673.622	339.458	738.720	842.670	559.825	1.604.076	358.477		7.747.602	
E_d	2,18365	0,56294	2,80300	1,16561	0,86698	1,53861	1,00408	1,05566			1,00000

Selanjutnya, pada pengulangan ke-2, sel MAT yang dihasilkan pada pengulangan ke-1 dikalikan dengan tingkat pertumbuhan zona tujuan (E_d) untuk menghasilkan MAT pengulangan ke-2.

$$T_{13}^2 = t_{13}^1 \times E_2^1 = 40.563 \times 2,80300 = 113.697$$

$$T_{14}^2 = t_{14}^1 \times E_2^1 = 250.036 \times 1,16561 = 291.445$$

.

.

$$T_{82}^2 = t_{82}^1 \times E_2^1 = 447.658 \times 0,56294 = 252.006$$

Setelah menghitung nilai T_{id} , maka dapat dihitung kembali nilai o_i dan d_d serta nilai E_i , E_d , dan E untuk pengulangan ke-2, hasil selengkapnya tersaji dalam Tabel 12.

Tabel 12. MAT Pengulangan ke-2 Model Furness Tahun 2025

ZONA	HLP	CGK	BDO	SRG	JOG/YIA	SOC	SUB	MLG	o_i	O_i	E_i
HLP	-	-	113.697	291.445	425.625	331.656	614.884	293.875	2.071.182	1.887.849	0,91148
CGK	-	-	-	366.115	345.889	217.187	781.446	64.602	1.775.239	1.693.679	0,95406
BDO	152.902	-	-	54.380	55.590	10.079	99.658	-	372.609	286.598	0,76917
SRG	233.930	304.247	48.278	-	-	-	57.189	-	643.644	721.766	1,12137
JOG/YIA	518.930	356.791	86.812	-	-	-	46.449	-	1.008.982	948.671	0,94023
SOC	299.463	227.426	11.759	-	-	-	4.450	-	543.098	549.761	1,01227
SUB	425.529	533.152	78.911	26.780	15.566	902	-	-	1.080.841	1.211.620	1,12100
MLG	-	252.006	-	-	-	-	-	-	252.006	447.658	1,77638
dd	1.630.754	1.673.622	339.458	738.720	842.670	559.825	1.604.076	358.477	7.747.602		
Dd	1.630.754	1.673.622	339.458	738.720	842.670	559.825	1.604.076	358.477		7.747.602	
Ed	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000			1,00000

Hal tersebut dilakukan terus menerus secara bergantian sehingga total sel MAT yang dihasilkan (baris ataupun kolom) sesuai dengan yang diinginkan yakni nilai E (tingkat pertumbuhan total zona i dan d) bernilai 1. Tabel MAT yang dihasilkan model Furness (setelah pembulatan) setelah pengulangan ke-135, hasil selengkapnya tersaji dalam Tabel 13.

Tabel 13. MAT Akhir (Pengulangan ke-135) Model Furness Tahun 2025

ZONA	HLP	CGK	BDO	SRG	JOG/YIA	SOC	SUB	MLG	o_i	O_i	E_i
HLP	-	-	54.905	266.768	403.226	325.488	545.527	291.935	1.887.849	1.887.849	1,00000
CGK	-	-	-	347.478	339.773	221.010	718.876	66.543	1.693.679	1.693.679	1,00000
BDO	67.582	-	-	54.305	57.457	10.792	96.463	-	286.598	286.598	1,00000
SRG	255.878	265.954	62.945	-	-	-	136.988	-	721.766	721.766	1,00000
JOG/YIA	487.777	268.015	97.266	-	-	-	95.613	-	948.671	948.671	1,00000
SOC	326.023	197.870	15.259	-	-	-	10.609	-	549.761	549.761	1,00000
SUB	493.493	494.125	109.083	70.169	42.215	2.535	-	-	1.211.620	1.211.620	1,00000
MLG	-	447.658	-	-	-	-	-	-	447.658	447.658	1,00000
d_d	1.630.754	1.673.622	339.458	738.720	842.670	559.825	1.604.076	358.477	7.747.602		
D_d	1.630.754	1.673.622	339.458	738.720	842.670	559.825	1.604.076	358.477		7.747.602	
E_d	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000			1,00000

Tabel 14. *Trip distribution* Penumpang menggunakan Model Furness tahun 2025

No	Zona		Proyeksi Penumpang 2025
	Asal	Tujuan	
1	HLP	BDO	60.430
2	HLP	SRG	318.864
3	HLP	JOG/YIA	54.905
4	HLP	SOC	266.768
5	HLP	SUB	403.226
6	HLP	MLG	325.488
7	CGK	SRG	545.527
8	CGK	JOG/YIA	291.935
9	CGK	SOC	347.478
10	CGK	SUB	339.773
11	CGK	MLG	221.010
12	BDO	HLP	718.876
13	BDO	SRG	66.543
14	BDO	JOG/YIA	67.582
15	BDO	SOC	54.305
16	BDO	SUB	57.457
17	SRG	HLP	10.792
18	SRG	CGK	96.463
19	SRG	BDO	255.878
20	SRG	SUB	265.954
21	JOG/YIA	HLP	62.945
22	JOG/YIA	CGK	136.988
23	JOG/YIA	BDO	487.777
24	JOG/YIA	SUB	268.015
25	SOC	HLP	97.266
26	SOC	CGK	95.613
27	SOC	BDO	326.023
28	SOC	SUB	197.870
29	SUB	HLP	15.259
30	SUB	CGK	10.609
31	SUB	BDO	493.493
32	SUB	SRG	494.125
33	SUB	JOG/YIA	109.083
34	SUB	SOC	70.169
35	MLG	CGK	42.215
Jumlah			7.747.602

Hasil perhitungan *trip distribution* pungulangan ke-135 pada Tabel 13 nilai E (tingkat pertumbuhan total zona i dan d) sudah bernilai 1, sehingga distribusi pergerakan penumpang pada tahun 2025 menggunakan model Furness dari bandar udara asal ke tujuan sudah didapatkan.

Proyeksi distribusi pergerakan penumpang dari bandar udara asal ke tujuan menggunakan model Furness untuk tahun 2025 ditunjukkan dalam Tabel 14. Berdasarkan Tabel 14 proyeksi distribusi pergerakan penumpang pesawat udara pada tahun 2025, jumlah penumpang meningkat menjadi 7.747.602 dibandingkan jumlah penumpang tahun 2020 pada Tabel 1 sebesar 4.507.896. Dengan kenaikan distribusi pergerakan penumpang sebesar 71,9%, bandar udara di pulau Jawa perlu mempersiapkan sarana dan prasarana yang dibutuhkan.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis uji model dapat disimpulkan bahwa, model Furness merupakan model terbaik dengan nilai SD dan MAPE terkecil dibandingkan dengan model Gravity Double Constrain (DCGR) dengan fungsi hambatan tanner. Karena semakin kecil nilai SD dan MAPE, maka semakin akurat MAT hasil penaksiran dibandingkan MAT hasil pengamatan. Sehingga model Furness akurat untuk menaksir distribusi pergerakan penumpang pesawat udara pada tahun 2025. Distribusi pergerakan penumpang pesawat udara tahun 2025 di pulau Jawa yang diramalkan dengan model Furness dapat dihasilkan seperti pada Tabel 14. Distribusi pergerakan penumpang pada tahun 2025 di pulau Jawa meningkat menjadi 7.747.602 penumpang. Dengan peningkatan ini bandar udara di pulau Jawa perlu meningkatkan fasilitas sarana dan prasarana bandar udara. Melihat hasil SD dan MAPE yang masih besar dari kedua model, perlu dikembangkan penelitian lebih lanjut untuk mencari model yang lebih akurat dalam menaksir MAT.

Daftar Pustaka

- [1] Hazledine, T. (2017). An augmented gravity model for forecasting passenger air traffic on city-pair routes. *Journal of Transport Economics and Policy (JTEP)*, 51(3), 208-224.
- [2] Gaus, A. (2016). Estimasi distribusi pergerakan arus lalu lintas di kota Ternate dengan menggunakan metode detroit. *JURNAL SIPIL SAINS*, 2(4).
- [3] Gunawan, G., & Medianto, R. (2016). Analisis Konektivitas Jaringan Transportasi Udara Nasional. *Angkasa: Jurnal Ilmiah Bidang Teknologi*, 8(2), 99-110.
- [4] Gunawan, G., & Medianto, R. (2015). Pemodelan Simulasi Jaringan Transportasi Udara Nasional. *ReTII*.
- [5] Suprayitno, H. (2020). Developing a direct gravity trip distribution model for air passenger demand. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 419, No. 1, p. 012092). IOP Publishing.
- [6] Nõmmik, A., & Kukemelk, S. (2016). Developing gravity model for airline regional route modelling. *Aviation*, 20(1), 32-37.
- [7] Gunawan, G. (2018, November). The Distribution of Aircraft Passenger Movements on Java Island Using the Gravity Model. In *Conference SENATIK ITDA Yogyakarta* (Vol. 4, pp. 47-59).
- [8] Algifari, A. R. (2013). *Teori, Kasus dan Solusi*. Yogyakarta: BPFE.
- [9] Tamin, O. Z. (2008). *Perencanaan, Pemodelan dan Rekayasa Transportasi*. Bandung: ITB.
- [10] Apriliansyah, T., & Herman, H. (2015). Perkiraan Distribusi Pergerakan Penumpang di Provinsi Jawa Barat Berdasarkan Asal Tujuan Transportasi Nasional. *RekaRacana: Jurnal Teknil Sipil*, 1(1), 29.
- [11] Assauri, S. (1984). *Teknik dan metode peramalan*. Lembaga Penerbit FE UI, Jakarta.

- [12] Badan Pusat Statistik. (2021). Statistik Transportasi Udara 2020. Jakarta : BPS.
- [13] Badan Pusat Statistik. (2020). Statistik Transportasi Udara 2019. Jakarta : BPS.
- [14] Badan Pusat Statistik. (2019). Statistik Transportasi Udara 2018. Jakarta : BPS.
- [15] Badan Pusat Statistik. (2018). Statistik Transportasi Udara 2017. Jakarta : BPS.
- [16] Badan Pusat Statistik. (2017). Statistik Transportasi Udara 2016. Jakarta : BPS.
- [17] Badan Pusat Statistik. (2016). Statistik Transportasi Udara 2015. Jakarta : BPS.
- [18] Badan Pusat Statistik. (2015). Statistik Transportasi Udara 2014. Jakarta : BPS.
- [19] Badan Pusat Statistik. (2014). Statistik Transportasi Udara 2013. Jakarta : BPS.
- [20] Badan Pusat Statistik. (2013). Statistik Transportasi Udara 2012. Jakarta : BPS.
- [21] Badan Pusat Statistik. (2012). Statistik Transportasi Udara 2011. Jakarta : BPS.
- [22] Badan Pusat Statistik. (2011). Statistik Transportasi Udara 2010. Jakarta : BPS.
- [23] Badan Pusat Statistik. (2010). Statistik Transportasi Udara 2009. Jakarta : BPS.
- [24] Badan Pusat Statistik. (2009). Statistik Transportasi Udara 2008. Jakarta : BPS.

