

## **THE DISTRIBUTION OF AIRCRAFT PASSENGER MOVEMENTS ON JAVA ISLAND USING THE GRAVITY MODEL**

**Gunawan**

Program Studi Teknik Penerbangan  
Sekolah Tinggi Teknologi Adisutjipto (STTA)  
Jl. Janti Blok R Lanud Adisutjipto Yogyakarta  
Email: [guns797@gmail.com](mailto:guns797@gmail.com)

### *Abstract*

*The need for movement always causes problems, especially when humans go to the same destination in a certain area at the same time. It is needed to do the analysis of the distribution of aircraft passenger movement in order to provide the required facilities in the future. This research model the distribution of aircraft passenger movements on Java Island using the Double Constrain Gravity model(DGCR) with the negative exponential, rank and tanner obstacle function. In this case, it is found that the Double Constrain Gravity Model (DGCR) with tanner obstacle function is the best method due to the smallest standard deviation. It could be concluded that the DCGR model with tanner obstacle functions is more accurate when compared to the DCGR model with other obstacle functions in estimating the movement distribution in 2025 on Java Island.*

**Keywords:** *distribution, movement, model, gravity*

### **1. Pendahuluan**

Pergerakan merupakan suatu kegiatan yang rutin dilakukan orang setiap hari untuk memenuhi kebutuhan hidup. Kebutuhan akan pergerakan bersifat sebagai kebutuhan turunan, pergerakan terjadi karena adanya proses pemenuhan kebutuhan yang merupakan kegiatan yang biasa dilakukan setiap hari, seperti halnya pemenuhan kebutuhan akan pekerjaan, pendidikan, kesehatan dan olahraga [1].

Pulau Jawa memiliki wilayah yang luas serta pertumbuhan penduduk yang selalu meningkat setiap tahunnya berdampak pada peningkatan kebutuhan akan alat transportasi. Laju pertumbuhan penduduk mendorong terjadinya peningkatan pada permintaan akan transportasi untuk memenuhi kebutuhan[2]. Transportasi udara merupakan salah satu moda transportasi alternatif untuk menjangkau berbagai wilayah dengan cepat dan tepat. Kelebihan transportasi udara dibandingkan dengan moda transportasi lain yaitu kecepatan lebih tinggi, perjalanan jarak jauh, dan bisa menjangkau daerah lain yang terpencil.

Perkembangan yang terjadi pada masa kini dipengaruhi oleh meningkatnya jumlah penduduk yang begitu signifikan, sehingga memberikan dampak secara langsung pada perencanaan transportasi. Karena dari waktu ke waktu objek yang diangkut selalu bertambah. Adanya penambahan jumlah penduduk tersebut dengan sendirinya akan membutuhkan penambahan alat pendukung untuk kegiatan setiap penduduk tersebut. Jika hal ini tidak diantisipasi sejak dini, maka dimasa yang akan datang akan menimbulkan suatu masalah ketidakseimbangan antara kebutuhan transportasi dengan pertumbuhan jumlah penduduk yang ada.

Kebutuhan akan pergerakan selalu menimbulkan permasalahan, khususnya pada saat manusia menuju tujuan yang sama di dalam daerah tertentu pada saat yang bersamaan. Kemacetan, tundaan, polusi suara dan udara adalah beberapa permasalahan yang timbul akibat adanya pergerakan[3]. Di sisi lain bandar udara di pulau jawa sebagian besar merupakan bandar udara dengan pergerakan yang sangat tinggi hal ini ditunjukkan dengan adanya nilai indikator konektifitas yang tinggi[4], disamping itu jumlah penerbangan yang

dilayani oleh bandar udara di pulau jawa juga tinggi[5]. Untuk mengurangi akibat buruk dari peningkatan jumlah pergerakan, maka dilakukan analisis perkiraan pergerakan pada masa yang akan datang, sehingga kita bisa mempersiapkan sarana dan prasarana yang dibutuhkan.

## 2. Metodologi Penelitian

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

Data yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini adalah data sekunder yang diperoleh dari Badan Pusat Statistik (BPS) Indonesia yaitu data penumpang domestik datang dan berangkat di masing-masing bandar udara menuju masing-masing bandar udara tahun 2010-2016 dan menggunakan data yang diperoleh dari website [www.treveloka.com](http://www.treveloka.com) untuk informasi aksesibilitas yang berupa biaya harga tiket masing-masing zona kajian digunakan untuk kalibrasi parameter nilai  $\beta$  model gravity dengan batasan bangkitan-tarikan (*Double Constrain Gravity/DCGR*).

Adapun teknik pengolahan data dalam penelitian ini adalah:

### a. Perhitungan bangkitan dan tarikan

Untuk menghitung bangkitan dan tarikan di masing-masing bandar udara untuk tahun rencana menggunakan metode trend linear[6] :

$$A = \bar{Y} - B \cdot \bar{X} \quad (2.1)$$

$$B = \frac{N \sum_{i=1}^N (X_i Y_i) - \sum_{i=1}^N (X_i) \cdot \sum_{i=1}^N (Y_i)}{N \sum_{i=1}^N (X_i^2) - \left( \sum_{i=1}^N (X_i) \right)^2} \quad (2.2)$$

$$Y = A + B \cdot X \quad (2.3)$$

Dimana :

Y = jumlah penumpang

X = banyaknya tahun

A = konstanta regresi

B = koefisien regresi

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

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

### b. Analisis Sebaran pergerakan

Untuk analisis sebaran pergerakan menggunakan metode konvensional analogi dan sintetis, untuk metode analogi menggunakan model detroit dan untuk metode sintetis menggunakan model gravity dengan batasan bangkitan-tarikan (*Double Constrain Gravity/DCGR*).

Model dari metode gravitasi ini mempunyai beberapa hal yang perlu diperhatikan. Dikatakan bahwa pergerakan antara zona asal  $i$  dan zona tujuan  $d$  berbandi lurus dengan  $O_i$  dan  $D_d$  dan berbanding terbalik kuadratis terhadap jarak antara kedua kota tersebut. Dalam bentuk matematis model *gravity* (GR) dinyatakan sebagai berikut[1] :

$$T_{id} = O_i \cdot D_d \cdot f(C_{id}) \quad (2.4)$$

Untuk model gravity dengan batasan bangkitan-tarikan (*Double Constrain Gravity/DCGR*) ini rumus yang digunakan adalah sebagai berikut [1]:

$$T_{id} = A_i \cdot O_i \cdot B_d \cdot D_d \cdot f(C_{id}) \quad (2.5)$$

$$A_i = \frac{1}{\sum_d (B_d \cdot D_d \cdot f_{id})} \text{ untuk seluruh } d \quad (2.6)$$

$$B_d = \frac{1}{\sum_i (A_i \cdot O_i \cdot f_{id})} \text{ untuk seluruh } i \quad (2.7)$$

Dimana :

$O_i$  dan  $D_d$  = jumlah pergerakan yang berasal dari zona  $i$  dan yang berakhir di zona  $d$

$A_i$  dan  $B_d$  = konstanta yang terkait dengan setiap zona bangkitan dan tarikan, dimana konstanta ini disebut sebagai faktor penyeimbang

$f(C_{id})$  = fungsi hambatan atau ukuran aksesibilitas kemudahan) antara zona  $i$  dengan zona  $d$

$f(C_{id})$  adalah fungsi hambatan perjalanan yang persamaannya dapat mengambil bentuk sebagai berikut[7]:

a. fungsi eksponensial-negatif :  $f(C_{id}) = \exp^{-\beta C_{id}}$  (2.8)

b. fungsi pangkat :  $f(C_{id}) = C_{id}^{-\beta}$  (2.9)

c. fungsi tanner :  $f(C_{id}) = C_{id}^{-\beta} \cdot \exp^{-\beta C_{id}}$  (2.10)

Indikator uji kesesuaian standar deviasi adalah suatu indikator kesalahan yang didasarkan pada total kuadratis dari simpangan antara hasil model dengan hasil observasi yang dapat didefinisikan sebagai persamaan [1]:

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N \sum_{d=1}^N \left[ \frac{(\hat{T}_{id} - T_{id})^2}{N(N-1)-1} \right]}{N(N-1)-1}} \quad (2.11)$$

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### a. Data Bangkitan dan Tarikan

Berdasarkan data yang diperoleh dari Statistik Transportasi Badan Pusat Statistik (BPS), dapat diketahui jumlah pergerakan penumpang domestik asal dan tujuan tahun 2016. Kemudian di rekapitulasi untuk mendapatkan jumlah bangkitan dan tarikan dari setiap zona dengan cara menjumlahkan masing-masing zona asal dan tujuan. Adapun hasil rekapitulasi bangkitan dan tarikan tahun 2016 adalah sebagai berikut.

Tabel 1. Rekapitulasi bangkitan dan tarikan tahun 2016

Sumber: Badan Pusat Statistik, diolah

Zona	Bangkitan Tahun 2016	Tarikan Tahun 2016
HLP	1.427.776	1.029.561
CGK	4.973.454	6.089.074
BDO	214.941	428.046
SRG	1.567.547	1.313.792
JOG	1.959.364	1.662.083
SOC	875.053	763.540
SUB	3.423.733	3.196.682
MLG	430.653	389.743
Jumlah	14.872.521	14.872.521

### b. Pemodelan Bangkitan dan Tarikan

Dengan menggunakan metode trend linear pada persamaan (2.1, 2.2 dan 2.3), data historis statistik transportasi penumpang domestik pesawat udara asal dan tujuan pada tabel 1 dapat diramalkan dalam bentuk proyeksi trend. Model hasil peramalan dihitung untuk mendapatkan *trip generation* 2016 dan 2025. Hasil perhitungan masing-masing zona dapat diketahui total bangkitan dan tarikan hasil pemodelan 2016 pada Tabel 2.

Tabel 2. Bangkitan dan tarikan model 2016

Zona	Bangkitan Model Tahun 2016	Tarikan Model Tahun 2016
HLP	939.402	698.318
CGK	5.661.831	6.381.231
BDO	325.203	400.654
SRG	1.568.541	1.356.990
JOG	1.986.139	1.941.561
SOC	821.245	722.715
SUB	3.533.728	3.367.558
MLG	389.369	356.432
Jumlah	15.225.458	15.225.458

Dapat dilihat pada Tabel 2 bahwa jumlah bangkitan dan tarikan model 2016 yaitu 15.225.458 penumpang berbeda dengan jumlah bangkitan dan tarikan 2016 yang sebenarnya yaitu 14.872.521 penumpang. Dari data di atas dapat dihitung galat atau tingkat kesalahan hasil pemodelan dengan data sebenarnya (Tabel 3).

Tabel 3. Perhitungan tingkat kesalahan pada pemodelan bangkitan 2016

Zona	Bangkitan Tahun 2016	Bangkitan Model Tahun 2016	<i>Square Error</i> <sup>2</sup>
HLP	1.427.776	939.402	238.509.489.459
CGK	4.973.454	5.661.831	473.862.679.967
BDO	214.941	325.203	12.157.767.450
SRG	1.567.547	1.568.541	988.610
JOG	1.959.364	1.986.139	716.907.765
SOC	875.053	821.245	2.895.293.690
SUB	3.423.733	3.533.728	12.098.802.252
MLG	430.653	389.369	1.704.331.959
SSE			503.436.771.694
Standar Deviasi			95.673,38

Dengan cara yang sama, maka dapat dihitung tingkat kesalahan dari model bangkitan tahun dasar pada Tabel 4.

Tabel 4. Perhitungan tingkat kesalahan pada pemodelan tarikan 2016

Zona	Tarikan Tahun 2016	Tarikan Model Tahun 2016	<i>Square Error</i> <sup>2</sup>
HLP	1.029.561	698.318	109.721.763.108
CGK	6.089.074	6.381.231	85.355.712.649
BDO	428.046	400.654	750.346.013
SRG	1.313.792	1.356.990	1.866.096.003
JOG	1.662.083	1.941.561	78.107.952.484
SOC	763.540	722.715	1.666.720.543
SUB	3.196.682	3.367.558	29.198.637.754
MLG	389.743	356.432	1.109.653.811
SSE			503.436.771.694
Standar Deviasi			95.673,38

### c. Hasil Peramalan Bangkitan dan Tarikan

Setelah itu didapat hasil model bangkitan dan tarikan 2025 yang diperoleh dari perhitungan peramalan dengan metode trend linear. Bangkitan dan tarikan hasil peramalan dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Bangkitan dan tarikan model hasil peramalan 2025

Zona	Bangkitan Model Tahun 2025	Tarikan Model Tahun 2025
HLP	2.338.290	1.736.311
CGK	8.455.786	9.238.661
BDO	613.502	832.811
SRG	2.550.133	2.277.159
JOG	3.157.388	3.071.382
SOC	1.452.308	1.372.881
SUB	5.352.097	5.437.724
MLG	716.029	668.604
Jumlah	24.635.532	24.635.532

### d. Perhitungan *Trip Distribution* dengan *Double Constrain Gravity Model* (DCGR)

Dalam penelitian ini menggunakan tiga jenis fungsi hambatan yaitu eksponensial-negatif, pangkat dan tanner. Dari ketiga jenis fungsi hambatan tersebut akan dipilih satu fungsi hambatan yang tepat dengan standar deviasi dengan nilai terkecil. Pada proses perhitungan ini data pergerakan yang digunakan adalah tahun 2016. Setelah terpilih fungsi penghambat yang tepat, maka *trip distribution* pada tahun peramalan (2025) dapat dilakukan.

#### 1) Kalibrasi Parameter Hambatan

Kalibrasi ini bertujuan untuk mencari nilai parameter fungsi hambatan *gravity* yaitu  $\beta$ . Dengan faktor hambatan pergerakan berupa biaya (harga tiket pesawat udara) dalam rupiah dan waktu tempuh perjalanan dalam menit serta satu set data matriks pergerakan penumpang tahun 2016. Untuk mencari parameter  $\beta$  dalam fungsi hambatan dilakukan kalibrasi dengan metode analisis regresi-linier. Hambatan berupa harga tiket di atas dibuat dalam bentuk matriks biaya yang dipaparkan pada Tabel 6 sedangkan pergerakan penumpang pada tahun 2016 dibuat menjadi data matriks pergerakan tahun 2016 (Tabel 7).

Tabel 6. Data matriks biaya [Cid]

ZONA	HLP	CGK	BDO	SRG	JOG	SOC	SUB	MLG
HLP	-	-	401.000	432.000	462.000	441.000	480.000	498.000
CGK	-	-	-	331.000	378.000	363.000	455.000	463.000
BDO	411.000	-	-	615.000	703.000	1.239.000	455.000	-
SRG	432.000	316.000	605.000	-	-	-	292.500	-
JOG	462.000	335.000	693.000	-	-	-	391.000	-
SOC	441.000	335.000	1.239.000	-	-	-	638.000	-
SUB	520.000	461.000	530.000	333.000	431.000	722.000	-	-
MLG	-	400.100	-	-	-	-	-	-

Tabel 7. Data matriks pergerakan tahun 2016 [Tid]

ZONA	HLP	CGK	BDO	SRG	JOG	SOC	SUB	MLG
HLP	-	-	1.518	217.864	307.098	192.789	537.542	170.965
CGK	-	-	-	914.784	1.163.521	524.617	2.151.754	218.778
BDO	295	-	-	36.809	79.956	17.925	79.956	-
SRG	217.054	1.097.188	39.684	-	-	-	213.621	-
JOG	92.211	1.606.612	85.502	-	-	-	175.039	-
SOC	187.956	628.474	19.853	-	-	-	38.770	-
SUB	532.045	2.326.147	281.489	144.335	111.508	28.209	-	-
MLG	-	430.653	-	-	-	-	-	-

**a) Fungsi Hambatan Eksponensial-negatif**

Dengan menggunakan matriks biaya pada Tabel 6 dan data pergerakan tahun 2016 pada Tabel 7, maka fungsi hambatan eksponensial-negatif (persamaan 2.8) menggunakan biaya dapat dihitung dengan pendekatan metode analisis regresi-linear didapatkan  $B = 0,000053606$ . Sehingga dengan menggunakan parameter  $B = -\beta$ , dihasilkan parameter  $\beta = -0,000053606$

Setelah parameter  $\beta$  diketahui, maka langkah selanjutnya adalah membuat matriks  $\exp(-\beta C_{id})$  yaitu mengeksponensialkan hasil perkalian parameter hambatan  $\beta$  dengan hambatan berupa harga tiket. Hasil perhitungan dapat dilihat dalam tabel berikut:

Tabel 8. Matriks fungsi hambatan ekponensial-negatif

Z O N A	HLP	CGK	BDO	SRG	JOG	SOC	SUB	MLG
H L P	-	-	0,00000000046 162652875041 0000000	0,00000000008 761482052627 2500000	0,00000000001 754468046080 4200000	0,00000000005 408140201873 1000000	0,00000000000 668476578124 4420000	0,00000000000 254698816828 9960000
C G K	-	-	-	0,00000001967 730823903530 0000000	0,00000000158 400073477599 0000000	0,00000000353 974058351479 0000000	0,00000000002 553365322292 8100000	0,00000000001 662893334278 3200000
B D O	0,00000000027 007230723101 6000000	-	-	0,00000000000 000480996246 7846460	0,00000000000 000004299396 4154633	0,00000000000 000000000000 0000014	0,00000000002 553365322292 8100000	-
S R G	0,00000000008 761482052627 2500000	0,00000004397 255949372610 0000000	0,00000000000 000822152519 1594050	-	-	-	0,00000015498 401239568100 0000000	-
J O G	0,00000000001 754468046080 4200000	0,00000001587 966758942120 0000000	0,00000000000 000007348829 8868590	-	-	-	0,00000000078 904443862091 8000000	-

S	0,00000000005	0,00000001587	0,00000000000	-	-	-	0,00000000000	-
O	408140201873	966758942120	00000000000	-	-	-	000140177098	-
C	1000000	0000000	0000014	-	-	-	9560640	-
S	0,00000000000	0,00000000001	0,00000000000	0,00000001767	0,00000000009	0,00000000000	-	-
U	078314716139	851085731877	045817635600	679591697720	243972527145	000001552627	-	-
B	7222000	7700000	9047000	0000000	1600000	0633040	-	-
M	-	0,00000000048	-	-	-	-	-	-
L	-	444415715642	-	-	-	-	-	-
G	-	5000000	-	-	-	-	-	-

Setelah matriks fungsi hambatan didapatkan, maka selanjutnya menghitung faktor penyeimbang ( $A_i$  dan  $B_d$ ). Dalam perhitungan ini bangkitan dan tarikan yang digunakan adalah bangkitan dan tarikan model 2016. Model yang digunakan adalah  $A_i = \frac{1}{\sum_d (B_d \cdot D_d \cdot f_{id})}$  untuk seluruh  $i$   $B_d = \frac{1}{\sum_i (A_i \cdot O_i \cdot f_{id})}$  untuk seluruh  $d$ . Proses pengulangan nilai  $A_i$  dan  $B_d$  dilakukan secara bergantian dengan nilai awal  $A_1=A_2=A_3=A_4=A_5=A_6=A_7=A_8=1$  dan dilakukan sampai  $A_i$  dan  $B_d$  konvergen (tidak mengalami perubahan lagi). Konvergensi dicapai setelah pengulangan ke-80.

Tabel 9. Faktor penyeimbang DCGR 2016 dengan fungsi hambatan eksponensial-negatif

Zona	Faktor Penyeimbang	
	$A_i$	$B_d$
HLP	158,6160	5622,8730
CGK	29,0940	188,2547
BDO	0,9325	14,5270
SRG	0,0080	0,1886
JOG	0,0512	3,6463
SOC	0,0518	1,6916
SUB	32,7949	138,3257
MLG	1,7183	320,6448

Setelah nilai faktor penyeimbang dan matriks fungsi hambatan didapatkan, maka untuk mendapatkan nilai pergerakan dari zona asal  $i$  dan zona tujuan  $d$  dapat dicari dengan persamaan  $T_{id} = A_i \cdot O_i \cdot B_d \cdot D_d \cdot \exp(-\beta C_{id})$ . Sehingga menghasilkan matriks akhir seperti yang terlihat pada tabel berikut.

Tabel 10. MAT akhir DCGR 2016 dengan fungsi hambatan eksponensial-negatif

ZONA	HLP	CGK	BDO	SRG	JOG	SOC	SUB	MLG	$o_i$	$O_i$	$A_i$
HLP	-	-	400.345	3.341	18.507	9.852	463.984	43.374	939.402	939.402	158,6160
CGK	-	-	-	829.442	1.847.213	712.863	1.959.255	313.058	5.661.831	5.661.831	29,0940
BDO	321.596	-	-	0	0	0	3.607	-	325.203	325.203	0,9325
SRG	4.304	660.936	0	-	-	-	903.301	-	1.568.541	1.568.541	0,0080
JOG	7.012	1.941.715	0	-	-	-	37.412	-	1.986.139	1.986.139	0,0512
SOC	9.041	812.204	0	-	-	-	0	-	821.245	821.245	0,0518
SUB	356.364	2.577.007	309	524.207	75.840	0	-	-	3.533.728	3.533.728	32,7949
MLG	-	389.369	-	-	-	-	-	-	389.369	389.369	1,7183
dd	698.318	6.381.231	400.654	1.356.990	1.941.561	722.715	3.367.558	356.432	15.225.458		
Dd	698.318	6.381.231	400.654	1.356.990	1.941.561	722.715	3.367.558	356.432		15.225.458	
Bd	5622,8730	188,2547	14,5270	0,1886	3,6463	1,6916	138,3257	320,6448			1,0000000000

**b) Fungsi Hambatan Pangkat**

Dengan menggunakan matriks biaya pada Tabel 6 dan data pergerakan tahun 2016 pada Tabel 7, maka fungsi hambatan pangkat (persamaan 2.9) menggunakan biaya dapat dihitung dengan pendekatan metode analisis regresi-linear didapatkan  $B = -2,29390867$ . Sehingga dengan menggunakan parameter  $B = -\beta$ , dihasilkan parameter  $\beta = 2,293908679$

Setelah parameter  $\beta$  diketahui, maka langkah selanjutnya adalah membuat matriks  $C_{id}^{-\beta}$  yaitu memangkatkan parameter hambatan  $\beta$  ke hambatan berupa harga tiket. Hasil perhitungan dapat dilihat dalam Tabel 11.

Tabel 11. Matriks fungsi hambatan pangkat

ZON A	HLP	CGK	BDO	SRG	JOG	SOC	SUB	MLG
HLP	-	-	7.130.196.62 1.723,37	8.458.338.80 6.562,56	9.866.687.90 5.624,60	8.868.020.09 3.936,72	10.770.815.3 83.394,70	11.719.898.0 99.417,10
CGK	-	-	-	4.591.782.84 8.901,68	6.226.684.29 5.511,72	5.674.375.36 8.455,31	9.527.115.90 3.373,83	9.915.746.30 7.989,59
BDO	7.544.673.97 9.440,02	-	-	19.017.388.1 11.447,80	25.845.299.2 98.689,40	94.830.742.6 14.297,00	9.527.115.90 3.373,83	-
SRG	8.458.338.80 6.562,56	4.128.382.5 21.042,56	18.315.502.3 07.898,70	-	-	-	3.457.749.87 8.231,69	-
JOG	9.866.687.90 5.624,60	4.720.067.7 76.047,79	25.009.710.1 58.069,70	-	-	-	6.728.880.23 2.217,13	-
SOC	8.868.020.09 3.936,72	4.720.067.7 76.047,79	94.830.742.6 14.297,00	-	-	-	20.688.477.6 72.652,60	-
SUB	12.941.650.8 58.742,20	9.817.766.7 07.380,56	13.519.670.2 24.704,00	4.655.676.08 0.496,40	8.413.492.49 5.521,38	27.475.735.3 02.733,70	-	-
MLG	-	7.093.540.6 40.866,50	-	-	-	-	-	-

Setelah matriks fungsi hambatan didapatkan, maka selanjutnya menghitung faktor penyeimbang ( $A_i$  dan  $B_d$ ). Dalam perhitungan ini bangkitan dan tarikan yang digunakan adalah bangkitan dan tarikan model 2016. Model yang digunakan adalah  $A_i = \frac{1}{\sum_d (B_d \cdot D_d \cdot f_{id})}$  untuk seluruh  $i$   $B_d = \frac{1}{\sum_i (A_i \cdot O_i \cdot f_{id})}$  untuk seluruh  $d$ . Proses pengulangan nilai  $A_i$  dan  $B_d$  dilakukan secara bergantian dengan nilai awal  $A_1=A_2=A_3=A_4=A_5=A_6=A_7=A_8=1$  dan dilakukan sampai  $A_i$  dan  $B_d$  konvergen (tidak mengalami perubahan lagi). Konvergensi dicapai setelah pengulangan ke-60.

Tabel 12. Faktor penyeimbang DCGR 2016 dengan fungsi hambatan pangkat

Zona	Faktor Penyeimbang	
	$A_i$	$B_d$
HLP	1,848099	0,00000000000000000000194459
CGK	2,689799	0,00000000000000000000322631
BDO	0,742177	0,0000000000000000000070786
SRG	0,927972	0,00000000000000000000104540
JOG	0,772123	0,0000000000000000000077007
SOC	0,579597	0,0000000000000000000061430
SUB	0,392285	0,0000000000000000000052277
MLG	0,684742	0,0000000000000000000058358

Setelah nilai faktor penyeimbang dan matriks fungsi hambatan didapatkan, maka untuk mendapatkan nilai pergerakan dari zona asal  $i$  dan zona tujuan  $d$  dapat dicari dengan



persamaan  $T_{id} = A_i \cdot O_i \cdot B_d \cdot D_d \cdot C_{id}^{-\beta}$ . Sehingga menghasilkan matriks akhir seperti yang terlihat pada Tabel 13.

Tabel 13. MAT akhir DCGR 2016 dengan fungsi hambatan pangkat

ZONA	HLP	CGK	BDO	SRG	JOG	SOC	SUB	MLG	oi	Oi	Ai
HLP			35.107	208.314	256.112	68.352	329.194	42.323	939.402	939.402	1,848099
CGK				992.009	1.417.803	383.654	2.554.256	314.108	5.661.831	5.661.831	2,689799
BDO	24.728			65.113	93.267	101.615	40.481		325.203	325.203	0,742177
SRG	167.185	1.237.146	75.607				88.603		1.568.541	1.568.541	0,927972
JOG	205.470	1.490.234	108.773				181.662		1.986.139	1.986.139	0,772123
SOC	57.320	462.548	128.015				173.362		821.245	821.245	0,579597
SUB	243.616	2.801.934	53.151	91.554	174.379	169.094			3.533.728	3.533.728	0,392285
MLG		389.369							389.369	389.369	0,684742
dd	698.318	6.381.231	400.654	1.356.990	1.941.561	722.715	3.367.558	356.432	15.225.458		
Dd	698.318	6.381.231	400.654	1.356.990	1.941.561	722.715	3.367.558	356.432		15.225.458	
Bd	2,E-20	3,E-20	7,E-21	1,E-20	8,E-21	6,E-21	5,E-21	6,E-21			1,00000

#### d) Fungsi Hambatan Tanner

Dengan menggunakan matriks biaya pada Tabel 6 dan data pergerakan tahun 2016 pada Tabel 7, maka fungsi hambatan tanner (persamaan 2.10) menggunakan biaya dapat dihitung dengan pendekatan metode analisis regresi-linear didapatkan  $B = -0,00000342$ . Sehingga dengan menggunakan parameter  $B = -\beta$ , dihasilkan parameter  $\beta = 0,000003421$

Setelah parameter  $\beta$  diketahui, maka langkah selanjutnya adalah membuat matriks  $C_{id}^{-\beta} \cdot \exp(-\beta C_{id})$ . Hasil perhitungan dapat dilihat dalam Tabel 14.

Tabel 14. Matriks fungsi hambatan tanner

ZONA	HLP	CGK	BDO	SRG	JOG	SOC	SUB	MLG
HLP	-	-	3,942463672	4,383521931	4,857278433	4,520579685	5,165767853	5,493849644
CGK	-	-	-	3,102925954	3,644160506	3,461884539	4,742347522	4,873922953
BDO	4,079663178	-	-	8,197831246	11,077378757	69,302691321	4,742347522	-
SRG	4,383521931	2,947721746	7,922137534	-	-	-	2,720028325	-
JOG	4,857278433	3,145676505	10,704845710	-	-	-	3,809878192	-
SOC	4,520579685	3,145676505	69,302691321	-	-	-	8,868887457	-
SUB	5,923266758	4,840690754	6,129398983	3,124228108	4,368552136	11,821280744	-	-
MLG	-	3,930344381	-	-	-	-	-	-

Setelah matriks fungsi hambatan didapatkan, maka selanjutnya menghitung faktor penyeimbang ( $A_i$  dan  $B_d$ ). Dalam perhitungan ini bangkitan dan tarikan yang digunakan adalah bangkitan dan tarikan model 2016. Model yang digunakan adalah  $A_i = \frac{1}{\sum_d (B_d \cdot D_d \cdot f_{id})}$  untuk seluruh  $i$   $B_d = \frac{1}{\sum_d (A_i \cdot O_i \cdot f_{id})}$  untuk seluruh  $d$ . Proses pengulangan nilai  $A_i$  dan  $B_d$  dilakukan secara bergantian dengan nilai awal  $A_1=A_2=A_3=A_4=A_5=A_6=A_7=A_8=1$  dan dilakukan sampai  $A_i$  dan  $B_d$  konvergen (tidak mengalami perubahan lagi). Konvergensi dicapai setelah pengulangan ke-61.

Tabel 15. Faktor penyeimbang DCGR 2016 fungsi hambatan tanner

Zona	Faktor Penyeimbang	
	Ai	Bd
HLP	1,990777	0,000000041
CGK	2,554567	0,000000056
BDO	0,764743	0,000000014
SRG	0,755245	0,000000017
JOG	0,682836	0,000000014
SOC	0,505810	0,000000011
SUB	0,451872	0,000000011
MLG	0,713137	0,000000012

Setelah nilai faktor penyeimbang dan matriks fungsi hambatan didapatkan, maka untuk mendapatkan nilai pergerakan dari zona asal i dan zona tujuan d dapat dicari dengan persamaan  $T_{id} = A_i \cdot O_i \cdot B_d \cdot D_d \cdot C_{id}^{-\beta} \cdot \exp(-\beta C_{id})$ . Sehingga menghasilkan matriks akhir seperti yang terlihat pada tabel berikut.

Tabel 16. MAT akhir DCGR 2016 dengan fungsi hambatan tanner

ZONA	HLP	CGK	BDO	SRG	JOG	SOC	SUB	MLG	oi	Oi	Ai
HLP	-	-	42.290	185.083	246.592	64.562	355.534	45.340	939.402	939.402	1,990777
CGK	-	-	-	1.013.246	1.430.818	382.379	2.524.296	311.091	5.661.831	5.661.831	2,554567
BDO	29.361	-	-	46.030	74.786	131.622	43.405	-	325.203	325.203	0,764743
SRG	150.274	1.245.852	53.830	-	-	-	118.585	-	1.568.541	1.568.541	0,755245
JOG	190.633	1.522.078	83.273	-	-	-	190.156	-	1.986.139	1.986.139	0,682836
SOC	54.342	466.199	165.123	-	-	-	135.582	-	821.245	821.245	0,505810
SUB	273.708	2.757.733	56.139	112.632	189.365	144.152	-	-	3.533.728	3.533.728	0,451872
MLG	-	389.369	-	-	-	-	-	-	389.369	389.369	0,713137
dd	698.318	6.381.231	400.654	1.356.990	1.941.561	722.715	3.367.558	356.432	15.225.458		
Dd	698.318	6.381.231	400.654	1.356.990	1.941.561	722.715	3.367.558	356.432		15.225.458	
Bd	0,000000041	0,000000056	0,000000014	0,000000017	0,000000014	0,000000011	0,000000011	0,000000012			1,000000000

## 2) Uji Kesesuaian Matriks

Untuk mendapatkan model DCGR terbaik, maka dilakukan uji kesesuaian matriks dengan perhitungan SD. Dari Tabel 10, 13 dan 16 didapatkan data penumpang hasil pemodelan DCGR dengan fungsi hambatan eksponensial-negatif, pangkat dan tanner yang digunakan untuk mencari nilai SD.

Dari hasil perhitungan dapat dilihat perbandingan nilai SD dari ketiga jenis fungsi hambatan yang akan digunakan sebagai pemodelan *trip distribution* penumpang tahun 2016. Adapun rekapitulasi perbandingan nilai SD dapat dilihat pada Tabel 17.

Tabel 17. Rekapitulasi nilai SD fungsi hambatan model DCGR

No	Model DCGR	SD
1	Fungsi Hambatan Eksponensial-negatif	202.886,81
2	Funsgi Hambatan Pangkat	126.587,76
3	Fungsi Hambatan Tanner	119.785,65

Dari ketiga jenis fungsi hambatan tersebut seperti yang sudah dihitung di atas, diperoleh model DCGR dengan fungsi hambatan tanner merupakan model terbaik dengan nilai SD terkecil. Karena semakin besar nilai SD, maka semakin tidak akurat MAT hasil penaksiran dibandingkan MAT hasil pengamatan.

### 3) Trip Distribution Dengan Model DCGR Tahun 2025

Model *trip distribution* penumpang tahun 2025 dapat dicari dengan menggunakan model yang telah dibuat sebelumnya, sesuai dengan menggunakan metode analisis regresi-linear. Maka model DCGR dengan fungsi hambatan tanner merupakan model terbaik yang akan digunakan.

Setelah didapatkan bangkitan dan tarikan tahun 2025 hasil peramalan dengan metode trend linear, maka dapat dilakukan perhitungan. Untuk menghitung *trip distribution* dengan menggunakan model yang sudah dibuat sebelumnya, maka masing-masing matriks fungsi hambatan dikalibrasi ulang menggunakan bangkitan dan tarikan tahun 2025 untuk menghitung faktor penyeimbang  $A_i$  dan  $B_d$  tahun ramalan 2025. Perhitungan koefisien penyeimbang dilakukan sampai  $A_i$  dan  $B_d$  konvergen. Konvergensi dicapai setelah pengulangan ke-57.

Tabel 18. Koefisien Penyeimbang tahun ramalan 2025 Fungsi Hambatan Tanner untuk hambatan biaya

Zona	Faktor Penyeimbang	
	$A_i$	$B_d$
HLP	1,838001	0,0000000249
CGK	2,367843	0,0000000330
BDO	0,657794	0,0000000080
SRG	0,801971	0,0000000108
JOG	0,720079	0,0000000091
SOC	0,509465	0,0000000068
SUB	0,480113	0,0000000072
MLG	0,834304	0,0000000083

Setelah nilai faktor penyeimbang dan matriks fungsi hambatan (Tabel 18) didapatkan, maka untuk mendapatkan nilai pergerakan dari zona asal  $i$  dan zona tujuan  $d$  dapat dicari dengan persamaan  $T_{id} = A_i \cdot O_i \cdot B_d \cdot D_d \cdot C_{id}^{-\beta} \cdot \exp(-\beta C_{id})$ . Sehingga menghasilkan matriks akhir seperti yang terlihat pada Tabel 19.

Tabel 19. MAT akhir model DCGR tahun 2025 Fungsi Hambatan Tanner

ZON A	HLP	CGK	BDO	SRG	JOG	SOC	SUB	MLG	$o_i$	$O_i$	$A_i$
HLP	-	-	113.331	464.780	585.355	181.343	863.224	130.256	2.338.290	2.338.290	1,838001
CGK	-	-	-	1.532.704	2.045.911	646.965	3.691.858	538.348	8.455.786	8.455.786	2,367843
BDO	71.075	-	-	81.618	125.350	261.046	74.412	-	613.502	613.502	0,657794
SRG	387.018	1.838.455	108.368	-	-	-	216.292	-	2.550.133	2.550.133	0,801971
JOG	476.747	2.181.058	162.790	-	-	-	336.794	-	3.157.388	3.157.388	0,720079
SOC	144.395	709.794	342.974	-	-	-	255.145	-	1.452.308	1.452.308	0,509465
SUB	657.076	3.793.324	105.347	198.057	314.766	283.526	-	-	5.352.097	5.352.097	0,480113
MLG	-	716.029	-	-	-	-	-	-	716.029	716.029	0,834304
dd	1.736.311	9.238.661	832.811	2.277.159	3.071.382	1.372.881	5.437.724	668.604	24.635.532		
Dd	1.736.311	9.238.661	832.811	2.277.159	3.071.382	1.372.881	5.437.724	668.604		24.635.532	
Bd	0,0000000249	0,0000000330	0,0000000080	0,0000000108	0,0000000091	0,0000000068	0,0000000072	0,0000000083			1,0000000000

Sehingga distribusi penumpang yang diramalkan oleh model gravity dengan batasan bangkitan dan tarikan (*double constrain/DCGR*) untuk tahun 2025 ditunjukkan dalam Tabel 20.

Tabel 20. *Trip distribution* penumpang model DCGR tahun 2025 Fungsi Hambatan Tanner

No	Zona		Penumpang Model 2025	No	Zona		Penumpang Model 2025
	Asal	Tujuan			Asal	Tujuan	
1	HLP	BDO	113.331	19	SRG	BDO	108.368
2	HLP	SRG	464.780	20	SRG	SUB	216.292
3	HLP	JOG	585.355	21	JOG	HLP	476.747
4	HLP	SOC	181.343	22	JOG	CGK	2.181.058
5	HLP	SUB	863.224	23	JOG	BDO	162.790
6	HLP	MLG	130.256	24	JOG	SUB	336.794
7	CGK	SRG	1.532.704	25	SOC	HLP	144.395
8	CGK	JOG	2.045.911	26	SOC	CGK	709.794
9	CGK	SOC	646.965	27	SOC	BDO	342.974
10	CGK	SUB	3.691.858	28	SOC	SUB	255.145
11	CGK	MLG	538.348	29	SUB	HLP	657.076
12	BDO	HLP	71.075	30	SUB	CGK	3.793.324
13	BDO	SRG	81.618	31	SUB	BDO	105.347
14	BDO	JOG	125.350	32	SUB	SRG	198.057
15	BDO	SOC	261.046	33	SUB	JOG	314.766
16	BDO	SUB	74.412	34	SUB	SOC	283.526
17	SRG	HLP	387.018	35	MLG	CGK	716.029
18	SRG	CGK	1.838.455				

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dapat disimpulkan bahwa tingkat uji kesesuaian matriks, model Model DCGR dengan fungsi hambatan tanner memiliki nilai standar deviasi lebih kecil dibandingkan dengan fungsi hambatan Eksponensial-negatif dan pangkat. Sehingga Model DCGR dengan fungsi hambatan tanner yang berarti lebih akurat jika dibandingkan dengan model DCGR dengan dengan fungsi hambatan lainnya

Distribusi pergerakan penumpang tahun 2025 yang diramalkan dengan model gravity dengan batasan bangkitan dan tarikan (*double constrain/DCGR*) dapat dihasilkan seperti pada tabel 20.

#### Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada STTA yang telah memberikan dukungan finansial terhadap penelitian ini melalui Program Penelitian Tahun 2018.

#### Daftar Pustaka

- [1] Tamin, O. Z. (2000). Perencanaan dan pemodelan transportasi. Penerbit ITB.
- [2] Pratiwi, D. A., & Hidayati, N. (2016). Model Distribusi Perjalanan Penumpang Domestik di Bandara Internasional Adi Soemarmo (Doctoral dissertation, Universitas Muhammadiyah Surakarta).
- [3] Gaus, A. (2016). Estimasi Distribusi Pergerakan Arus Lalu Lintas Di Kota Ternate Dengan Menggunakan Metode Detroit. SIPIL SAINS, 2(4).

- [4] Gunawan, G., & Medianto, R. (2016). Analisis Konektivitas Jaringan Transportasi Udara Nasional. *Angkasa: Jurnal Ilmiah Bidang Teknologi*, 8(2), 99-110.
- [5] Gunawan, G., & Medianto, R. (2017, January). Pemodelan Simulasi Jaringan Transportasi Udara Nasional. In *Prosiding Seminar Nasional ReTII*.
- [6] Algifari. (2000). Analisis Regresi, Teori, Kasus & Solusi. BPFE UGM. Yogyakarta.
- [7] Tamin, O. Z. (2008). Perencanaan, Pemodelan dan Rekayasa Transportasi. Bandung: ITB.
- [8] Black, J. (2018). *Urban transport planning: Theory and practice*. Routledge.
- [9] Miro, F. (2005). *Perencanaan transportasi: untuk mahasiswa, perencanaan, dan praktisi*. Penerbit Erlangga.