

DISTRIBUSI ANGKUTAN BARANG MELALUI LAUT DENGAN MODEL DOUBLE CONSTRAINT GRAVITY UNTUK PELABUHAN UTAMA ANTAR PULAU DI INDONESIA BERDASARKAN DATA BPS

FREIGHT TRIP DISTRIBUTION BY SEA WITH DOUBLE CONSTRAINT GRAVITY MODEL FOR MAIN INTER-ISLAND PORTS IN INDONESIA BASED ON BPS DATA

Tri Mulyono^{a,1*}, Winoto Hadi^{a,2}, Intan Puspa Wangi^{a,3}

^a Manajemen Pelabuhan dan Logistik Maritim, Universitas Negeri Jakarta, Jl. R.Mangun Muka Raya No.11, RT.11/RW.14, Rawamangun, Kec. Pulo Gadung, Kota Jakarta Timur, Daerah Khusus Ibukota Jakarta, Indonesia, 13220

¹ trimulyono@unj.ac.id, ² winoto@unj.ac.id, ³ intanpuspawangi@unj.ac.id

*email corresponding: trimulyono@unj.ac.id

Diterima: 10 Agustus 2025, direvisi: 12 September 2025, disetujui: 27 September 2025, diterbitkan: 30 Oktober 2025

ABSTRAK

Tujuan penelitian ini untuk mendapatkan pola pola distribusi pergerakan barang angkutan laut di pelabuhan utama dengan sumber data sekunder dari Badan Pusat Statistik dengan cara pemodelan. Hal ini krusial mengingat bahwa mengetahui bangkitan perjalanan barang sangat penting untuk memprediksi volume pergerakan barang di masa depan. Metode pemodelan menggunakan model dengan-batasan-bangkitan dan tarikan atau Model Double Constraint Gravity (DCGR). Data bangkitan pergerakan sebagai total volume muat di pelabuhan dan tarikan sebagai total volume bongkar. Estimasi parameter model menggunakan metode kuadrat terkecil untuk mengkalibrasi parameter model dan fungsi hambatan menggunakan fungsi eksponensial negatif. Variabel terikat merupakan volume bongkar-muat barang angkutan laut antar pulau di pelabuhan utama; dan variabel bebas merupakan faktor sosial ekonomi yang diduga mempengaruhi pertumbuhan pergerakan barang. Hasil pemodelan dapat menjelaskan lebih lanjut informasi bongkar/muat asal-tujuan barang di pelabuhan, karena data BPS tidak mencantumkan asal-tujuan bongkar/muat di pelabuhan utama antar pulau.

Kata kunci : Angkutan barang laut, Model graviti dua batasan, Pelabuhan Utama Antar Pulau

ABSTRACT

The purpose of this research is to obtain the distribution patterns of sea freight movement in the main port with secondary data sources from the BPS - Statistics Indonesia by modelling. This research is crucial considering that understanding freight trip generation is essential for predicting the volume of goods movement in the future. Method uses a model with production and attraction constraints or the Double Constraint Gravity Model (DCGR). The freight trip generation data is the total loading volume at the port and the attraction is the total unloading

volume. Model parameter estimation uses the least squares method to calibrate the model parameters, and the constraint function uses a negative exponential function. The dependent variable is the volume of inter-island sea freight loading and unloading at the main port; and the independent variable is the socio-economic factor that is expected to influence the growth of sea freight movement. The modelling results can further explain the information on loading/unloading origin-destination of goods, because BPS data does not include the origin-destination of loading/unloading at the main Inter-Island Ports.

Keywords: *Sea freight, Double Constraint Gravity Model, Main Inter-Island Ports*

Pendahuluan

Tujuan dasar tahap bangkitan pergerakan dalam empat tahap pemodelan transportasi adalah menghasilkan model hubungan yang mengaitkan parameter tata guna lahan dengan jumlah pergerakan yang menuju ke suatu zona atau jumlah pergerakan yang meninggalkan suatu zona (Mulyono, 2025, p. 91). Zona asal dan tujuan pergerakan biasanya juga menggunakan istilah *trip end*. Model ini sangat dibutuhkan apabila efek tata guna lahan (Mukherjee & Raghuram Kadali, 2022, p.1) dan pemilihan pergerakan terhadap besarnya bangkitan dan tarikan pergerakan berubah sebagai fungsi waktu (Ortúzar & Willumsen, 2011, pp.141; Tamin, 2000, p. 213). Bangkitan perjalanan barang penting diketahui untuk memperkirakan jumlah pergerakan barang pada masa mendatang. Informasi ini dapat digunakan untuk membuat keputusan terkait angkutan barang (Khairu et al., 2024, p. 172; Pidor et al., 2018, p. 119). Prosedur estimasi bangkitan perjalanan menggunakan model matematika yang mengaitkan setiap tujuan dengan karakteristik demografi, populasi, rumah tangga, pekerjaan, kepemilikan kendaraan, dan pendapatan atau informasi ekonomi lainnya. Informasi terkini tentang variabel-variabel ini dapat diperoleh dari Badan Pusat Statistik, di sisi lain, informasi masa depan diperoleh dari proyeksi (Chang et al., 2014, p. 78). Banyak model untuk melakukan proyeksi seperti penggunaan analisa regresi (Khaerani et al., 2024, pp. 1-9; Qawasmeh, 2024, p. 1; Saleh et al., 2021, pp.1-6)].

Pemodelannya menggunakan *Gravity Model* yang didasarkan dari Hukum Newton (Dragu & Roman, 2019, pp. 1-10; Hussain et al., 2021, p.1; Obi Lawrence E, 2021, p. 61). Metode didasarkan pada asumsi (Ortúzar & Willumsen, 2011, p. 182; Tamin, 2000, p. 175): (1) sebelum pergerakan pada masa mendatang diramalkan, terlebih dahulu harus dipahami alasan terjadinya pergerakan pada masa sekarang; (2) alasan tersebut kemudian dimodelkan dengan menggunakan analogi hukum alam yang sering terjadi. Prinsip yang menggarisbawahi metode ini adalah pergerakan dari zona asal ke zona tujuan berbanding lurus dengan besarnya bangkitan

di zona asal dan juga tarikan di zona tujuan serta berbanding terbalik dengan jarak (kemudahan) antara kedua zona tersebut.

Studi terdahulu tentang Model Gravitasi memiliki dua kategori utama untuk kalibrasi model (Zhao et al., 2024, p. 2), yaitu: (1) Kategori pertama melibatkan kalibrasi faktor penyeimbang, yang merupakan bobot terhadap total pembangkitan dan daya tarik dalam model. Faktor-faktor ini bertujuan untuk memastikan bahwa model secara akurat mencerminkan volume perjalanan di dunia nyata; dan (2) kategori kedua berfokus pada kalibrasi fungsi pencegahan, yang merupakan model yang mewakili hambatan atau biaya perjalanan yang terkait dengan perjalanan antara pasangan *origin-destination* (OD). Dengan mengkalibrasi fungsi ini, perencana transportasi dapat mempertimbangkan berbagai faktor yang memengaruhi perilaku perjalanan, seperti waktu tempuh, jarak, dan kecepatan. Namun, karena keterbatasan dalam data biaya perjalanan, berbagai metode kalibrasi telah diusulkan untuk mengimbangi bias dalam fitur biaya perjalanan, mencerminkan preferensi perjalanan, dan meningkatkan kinerja model. Hasil pemodelan berguna untuk peramalan di masa depan untuk pengembangan permintaan angkutan barang melalui laut. Selain itu meningkatkan kinerja logistik nasional, memperbaiki iklim investasi, dan meningkatkan daya saing perekonomian nasional (Mulyono, 2023, p. 46; Setiawan, 2023, p. 1).

Pengembangkan model *Freight Trip Generation* (FTG) untuk memperoleh model permintaan transportasi yang paling tepat yang kemungkinan dapat mewakili perilaku pergerakan lalu lintas angkutan laut dari satu pelabuhan ke pelabuhan lain dalam bentuk Matriks Asal-Tujuan (MAT). Di sisi lain informasi pergerakan barang angkutan laut untuk distribusi volume bongkar-muat di pelabuhan utama antar pulau yang dipublikasikan BPS hanya memberikan total volume bongkar-muat di sebuah pelabuhan, tidak ada informasi asal-tujuan volume pergerakan barang. Melalui pendekatan pemodelan pergerakan barang angkutan laut antar pulau di pelabuhan utama, diharapkan dapat memperkirakan permintaan lalu lintas angkutan laut di masa mendatang dengan menentukan variabel sosio-ekonomi yang menentukan, dan parameter hambatan- β untuk memperkirakan pola distribusi asal-tujuan menggunakan *Double Constraint Gravity Model* (DCGR) berdasarkan data BPS untuk total volume bongkar-muat.

Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian dengan pemodelan menggunakan pendekatan dua batasan (*Double Constraint Gravity Model/DCGR*). Estimasi parameter model menggunakan metode kuadrat terkecil (*Ordinary Least Squares/OLS*) sebagai kalibrasi parameter model dan fungsi hambatan menggunakan fungsi eksponensial negatif. Data dikumpulkan dari publikasi Badan Pusat Statistik Indonesia sesuai variabel penelitian. Variabel terikat merupakan volume bongkar-muat barang angkutan laut antar pulau di pelabuhan utama; dan variabel bebas merupakan faktor sosial ekonomi yang diduga mempengaruhi pertumbuhan pergerakan barang. Tahapan pemodelan DCGR, yaitu: (1) mengumpulkan data untuk setiap variabel dari data sekunder sumber BPS; (2) menghitung z-skor untuk setiap variabel; (3) menentukan variabel bebas yang mempengaruhi variabel terikat; (4) mencari nilai parameter- β menggunakan metode kuadrat terkecil (*Ordinary Least Squares/OLS*); (5) membuat matrik biaya, C_{ij} ; (6) mencari nilai A_i dan B_i dengan iterasi sampai konvergen; (7) membuat matrik pergerakan, T_{ij} .

Hasil dan Pembahasan

Hasil pengumpulan data Variabel terikat (Y) dan variabel bebas (X) menggunakan data sekunder dari Badan Pusat Statistik (BPS), disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Variabel penelitian

Pelabuhan	Tahun	Y ₁	Y ₂	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆
Belawan	2024	9,072	3,055	3.527	72.461	12,79	15,59	126,91	73,58
Tj. Priok	2024	16,205	15,618	2.789	661	21,37	10,68	79,99	344,35
Tj. Perak	2024	17,622	14,307	11.347	48.037	14,72	41,81	977,47	75,77
Balikpapan	2024	2,464	1,453	960	126.981	14,46	4,05	35,64	212,18
Makassar	2024	4,954	4,165	2.113	45.331	14,30	9,46	123,93	73,57
Belawan	2023	8,878	3,167	3.527	72.461	12,34	15,18	126,91	68,31
Tj. Priok	2023	16,029	14,755	2.789	661	20,81	10,64	79,99	322,62
Tj. Perak	2023	17,688	13,625	11.347	48.037	14,23	41,23	977,47	71,12
Balikpapan	2023	1,803	1,228	960	126.981	13,82	3,86	35,64	215,76
Makassar	2023	4,923	4,062	2.113	45.331	13,80	9,26	123,93	69,71
Belawan	2022	7,892	3,314	3.527	72.461	12,15	14,97	120,91	62,92
Tj. Priok	2022	13,881	14,093	2.789	661	20,38	10,61	55,16	299,68
Tj. Perak	2022	17,758	13,142	11.347	48.037	13,76	40,92	874,50	66,25
Balikpapan	2022	1,658	1,146	960	126.981	13,34	3,80	26,22	238,92
Makassar	2022	4,707	3,894	2.113	45.331	13,39	9,16	129,68	65,35

Pelabuhan	Tahun	Y ₁	Y ₂	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆
Belawan	2021	2,664	0,070	3.527	72.461	11,75	14,80	132,38	57,44
Tj. Priok	2021	10,955	12,837	2.789	661	19,95	10,56	62,11	274,66
Tj. Perak	2021	7,127	4,952	11.347	48.037	13,44	40,67	762,02	59,99
Balikpapan	2021	9,441	9,439	960	126.981	12,86	3,77	26,60	183,16
Makassar	2021	6,194	3,473	2.113	45.331	13,01	9,07	122,88	59,50
Belawan	2020	2,061	0,068	3.527	72.461	11,62	15,59	120,16	54,98
Tj. Priok	2020	10,180	11,950	2.789	661	19,68	10,68	59,02	262,62
Tj. Perak	2020	5,707	3,972	11.347	48.037	13,34	41,81	828,48	56,64
Balikpapan	2020	9,194	9,404	960	126.981	12,45	4,05	24,64	161,80
Makassar	2020	5,759	3,576	2.113	45.331	12,86	9,46	126,49	55,68
Belawan	2019	11,247	0,733	3.527	72.461	11,89	14,64	127,15	54,62
Tj. Priok	2019	10,925	14,717	2.789	661	20,00	10,50	62,93	268,05
Tj. Perak	2019	6,811	4,728	11.347	48.037	13,49	39,74	862,45	59,02
Balikpapan	2019	8,928	9,562	960	126.981	13,10	3,62	32,04	180,26
Makassar	2019	6,248	4,229	2.113	45.331	12,90	8,82	129,82	57,18
Belawan	2018	2,771	0,242	3.527	72.461	11,63	14,48	140,61	51,43
Tj. Priok	2018	12,221	13,804	2.789	661	19,55	10,43	37,85	247,68
Tj. Perak	2018	5,848	3,871	11.347	48.037	13,07	39,52	779,39	55,41
Balikpapan	2018	8,586	9,388	960	126.981	12,67	3,57	33,73	174,17
Makassar	2018	5,643	4,405	2.113	45.331	12,54	8,75	109,18	52,64
Rata-rata		8,40	6,76	4147,34	58694,08	14,50	15,88	242,12	133,91
Standar Deviasi		4,72	5,21	3751,75	41864,15	3,03	13,17	320,82	96,31

Keterangan:

Y₁-volume Bongkar angkutan laut antar pulau di pelabuhan utama (ton), 2006-2024 (BPS, 2025a)

Y₂-volume Muat Barang angkutan laut antar pulau di pelabuhan utama (ton), 2006-2024 (BPS, 2025a);

X₁-Banyaknya Rumah Tangga dalam Ribu Rumah Tangga (BPS, 2016);

X₂-Luas Daerah Menurut Provinsi dalam km² (BPS, 2023);

X₃-Pengeluaran per Kapita yang Disesuaikan menurut Jenis Kelamin dalam juta Rp./Orang/Tahun (BPS, 2025b);

X₄-Jumlah Penduduk Menurut Provinsi di Indonesia dalam juta Jiwa (BPS, 2020);

X₅-Jumlah Perusahaan Industri Skala Mikro dan Kecil Menurut Provinsi dalam ribu Unit (BPS, 2024); dan

X₆-Produk Domestik Regional Bruto per Kapita Atas Dasar Harga Berlaku dalam juta Rp. (BPS, 2025c).

Sumber: <https://www.bps.go.id/id>

Agar dapat dilakukan regresi pada variabel data maka perlu dilakukan standarisasi nilai data. Standarisasi data (z-skor) sebagai pengukuran statistik yang menunjukkan bagaimana suatu nilai berhubungan dengan sekelompok nilai serupa dengan tujuan untuk memastikan data dapat diproses, dianalisis, dan digunakan secara efektif di berbagai sistem dan aplikasi. Selain

itu penting untuk kualitas data, integrasi, dan akurasi pengambilan keputusan. Pers. 1 untuk menghitung Z-score dengan X_i adalah nilai asli dari data; μ adalah rata-rata dari seluruh data; dan σ adalah standar deviasi dari seluruh data. Hasil hitungan nilai variabel yang distandarisasi.

$$Z = \frac{X_i - \mu}{\sigma} \tag{1}$$

Tabel 2. Korelasi antar variabel

Korelasi antara volume bongkar (Y_1) dengan X_i							Korelasi antara volume muat (Y_2) dengan X_i								
	Y_1	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6		Y_2	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6
Y_1	1,000							Y_2	1,000						
X_1	0,337	1,000						X_1	0,140	1,000					
X_2	-0,463	-0,258	1,000					X_2	-0,497	-0,258	1,000				
X_3	0,548	-0,097	-0,697	1,000				X_3	0,767	-0,097	-0,697	1,000			
X_4	0,327	0,998	-0,263	-0,122	1,000			X_4	0,111	0,998	-0,263	-0,122	1,000		
X_5	0,327	0,979	-0,163	-0,164	0,974	1,000		X_5	0,138	0,979	-0,163	-0,164	0,974	1,000	
X_6	0,336	-0,411	-0,209	0,833	-0,448	-0,446	1,000	X_6	0,619	-0,411	-0,209	0,833	-0,448	-0,446	1,000

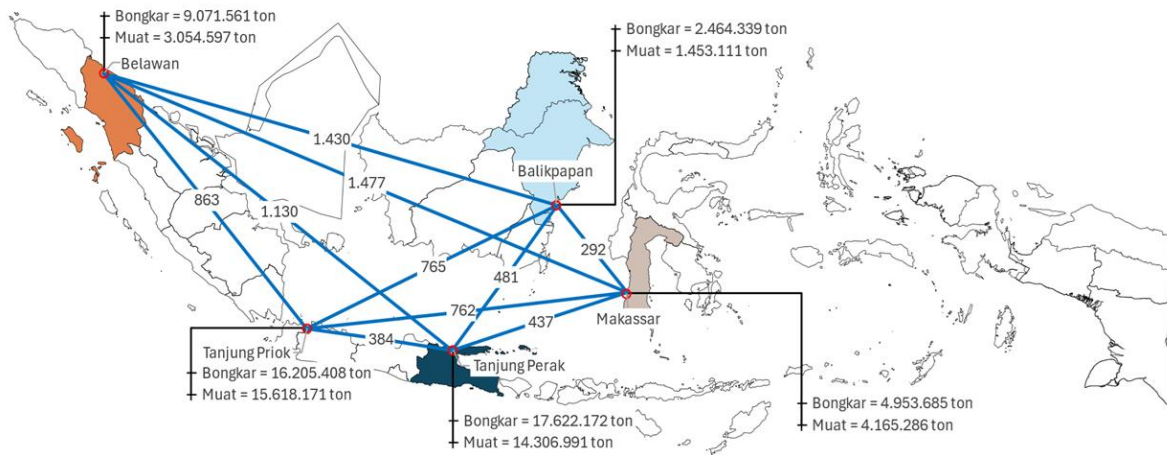
Hasil regresi menunjukkan korelasi antar variabel seperti dalam Tabel 2. Hasilnya menunjukkan nilai variabel X_3 -Pengeluaran per kapita memberikan nilai yang besar, $r = 0,548$ untuk bongkar dan $r=0,767$ untuk muat. Hasil regresi menggunakan Analysis ToolPak-Data Analysis menghasilkan koefisien regresi terbesar untuk variabel X_3 , walaupun variabel X_4 -jumlah penduduk memberikan nilai terbesar kedua akan tetapi nilai korelasinya kurang dari 0,5 sehingga dipilih variabel yang mempengaruhi adalah variabel X_3 -pengeluaran per kapita. Hubungan ini digunakan untuk menaksir parameter α dan β . Parameter ini digunakan untuk menghitung fungsi hambatan dalam model DGCR. Nilai hambatan atau parameter β dicari dengan metode kuadrat terkecil. Ide utama metode penaksiran ini adalah mengkalibrasi parameter yang tidak diketahui dengan meminimumkan kuadrat dari selisih antara hasil pemodelan dengan data pengamatan. Menggunakan Pers. 2 dan Pers. 3 (Ortúzar & Willumsen, 2011, p. 184; Tamin, 2000, p. 178), dengan x_i adalah z-skor untuk variabel X untuk i ; dan y_i dihitung sesuai Pers. 4 dengan P adalah prosentase volume bongkar atau muat terhadap total untuk i . Didapatkan nilai parameter $\beta = 0,47534946$.

$$\beta = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \tag{2}$$

$$\alpha = \hat{y}_i - \beta \hat{x}_i \tag{3}$$

$$y_i = \log_e \frac{1-P}{P} \tag{4}$$

Matrik pergerakan dan biaya yang akan dibuat menggunakan data pergerakan arus barang dengan asumsi volume muat sebagai zona (pelabuhan) asal, o_i dan volume muat sebagai zona tujuan, d_j . Perbedaan nilai volume bongkar dan muat tidak diperbolehkan karena model mensyaratkan bahwa total pergerakan yang berasal dari setiap zona asal harus selalu sama dengan total pergerakan (yang dibangkitkan) yang diperkirakan oleh tahap bangkitan pergerakan. Sehingga matrik pergerakan antar zona (pelabuhan) dinyatakan dalam persen seperti yang terlihat pada Tabel 3. Matrik biaya sebagai fungsi jarak dalam prosentase, C_{ij} dengan besarnya jarak antar pelabuhan sesuai Tabel 4, yang diilustrasikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Total Volume Bongkar-Muat, 2024 dan Jarak Antar Pelabuhan Sebagai Fungsi Biaya, C_{ij}

Sumber: Bongkar/Muat Barang Angkutan Laut Antar Pulau di Pelabuhan Utama, BPS, (2025a); Sea-Distancea.org, (2025)

Tabel 3. Matrik bangkitan dan tarikan pergerakan pada setiap zona (pelabuhan)

Pelabuhan	Belawan	Tj. Priok	Tj. Perak	Balikpapan	Makassar	o_i (Muat)
Belawan						7,91
Tj. Priok						40,46
Tj. Perak						37,07
Balikpapan						3,76
Makassar						10,79
d_j (Bongkar)	18,03	32,21	35,02	4,90	9,84	100

Tabel 4. Matrik biaya sebagai fungsi jarak (prosentase), C_{ij}

Pelabuhan	Belawan	Tj. Priok	Tj. Perak	Balikpapan	Makassar
Belawan	-	0,1761	0,2306	0,2918	0,3014
Tj. Priok	0,3111	-	0,1384	0,2758	0,2747
Tj. Perak	0,4646	0,1579	-	0,1978	0,1797
Balikpapan	0,4818	0,2577	0,1621	-	0,0984
Makassar	0,4976	0,2567	0,1472	0,0984	-

Model gravitasi yang mempunyai fungsi hambatan eksponensial-negatif seperti Pers. 5.a, yang dapat disederhanakan dengan urutan penyederhanaan seperti pada Pers. 5.b-e. Dengan melakukan transformasi linear, Pers 5.e dapat disederhanakan dan ditulis kembali sebagai persamaan linear $Y = A + BX$ dengan mengasumsikan $\log_e T_{ij} = Y$ dan $C_{ij} = X$. Dengan mengetahui informasi $[T_{ij}]$ dan $[C_{ij}]$, yang dihasilkan beberapa nilai sebagai berikut: $B = -\beta$ dan $A = \log_e [A_i B_j O_i D_j]$. Nilai A_i dan B_j ditentukan sesuai dengan jenis batasan model gravity yang diinginkan dalam konteks ini adalah DCGR.

$$T_{ij} = A_i B_j O_i D_j \exp(-\beta C_{ij}) \quad (5.a)$$

$$\exp(-\beta C_{ij}) = \frac{T_{ij}}{A_i B_j O_i D_j} \quad (5.b)$$

$$\log_e [\exp(-\beta C_{ij})] = \log_e \left[\frac{T_{ij}}{A_i B_j O_i D_j} \right] \quad (5.c)$$

$$-\beta C_{ij} = \log_e T_{ij} - \log_e [A_i B_j O_i D_j] \quad (5.d)$$

$$\log_e T_{ij} = \log_e [A_i B_j O_i D_j] - \beta C_{ij} \quad (5.e)$$

Model dengan-batasan-bangkitan dan tarikan atau Model *Double Constraint Gravity* (DCGR), bangkitan dan tarikan pergerakan harus selalu sama dengan yang dihasilkan oleh tahap bangkitan pergerakan. Model yang digunakan dengan syarat batas sesuai “faktor penyeimbang” sesuai Pers. 6.a-b. Kedua faktor penyeimbang (A_i dan B_j) menjamin bahwa total ‘baris’ dan ‘kolom’ dari matriks hasil pemodelan harus sama dengan total ‘baris’ dan ‘kolom’ dari matriks hasil bangkitan pergerakan.

untuk seluruh j ,

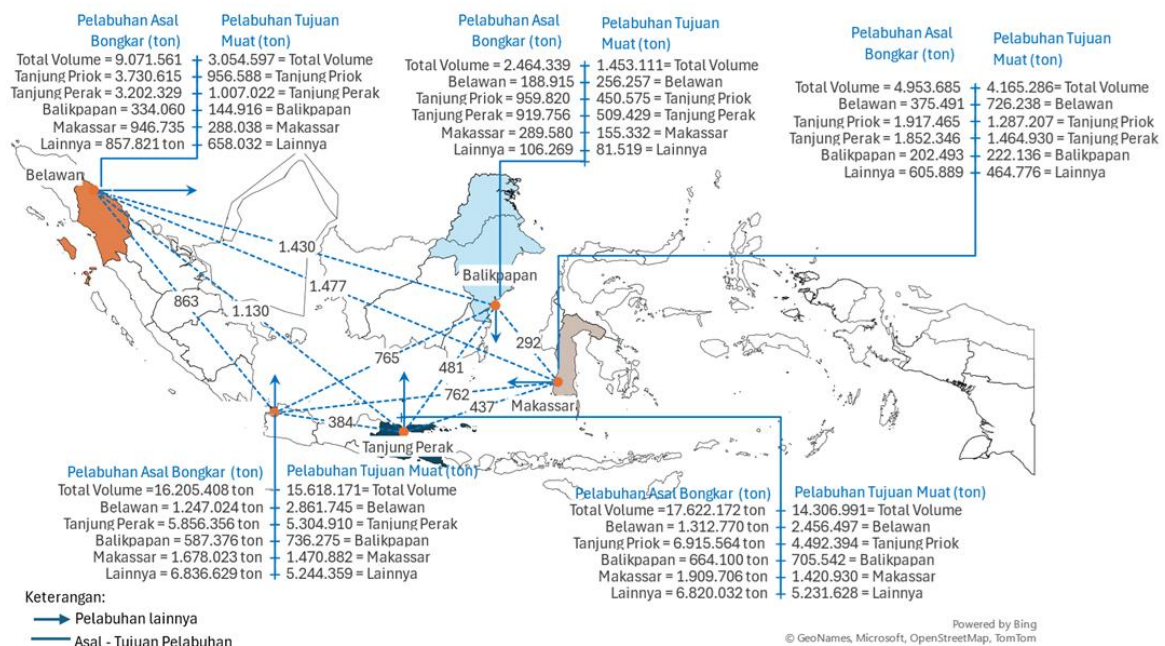
$$A_i = \frac{1}{\sum_j (B_j D_j f_{ij})} \quad (6.a)$$

untuk seluruh i

$$B_j = \frac{1}{\sum_i (A_i O_i f_{ij})} \quad (6.b)$$

Proses pengulangan nilai A_i dan B_j dilakukan secara bergantian. Hasil akhir akan selalu sama, dari manapun pengulangan dimulai ('baris' atau 'kolom'). Dalam kasus ini, pengulangan dimulai dengan menganggap nilai awal $B_1 = B_2 = B_3 = B_4 = B_5 = 1$, dengan 1..2 adalah pelabuhan. Hasil akhir juga tidak tergantung pada nilai awal. Nilai awal dapat berupa nilai berapa saja asal lebih besar nol. Hal ini hanya akan berpengaruh pada jumlah pengulangan untuk mencapai konvergensi. Semakin besar perbedaan antara nilai awal dengan nilai akhir, semakin banyak jumlah pengulangan yang dibutuhkan untuk mencapai konvergensi.

Hasil pemodelan pergerakan pada setiap zona (Pelabuhan) sesuai data di Tabel 3 dan Tabel 4, serta $\beta = 0,47534946$. Didapatkan nilai A_i dan B_i setelah pengulangan ke-8, dengan hasil iterasi seperti di Tabel 5. Menggunakan nilai A_i dan B_i dari di Tabel 5, didapatkan matrik pergerakan antar pelabuhan seperti di Tabel 6. Distribusi pergerakan barang hasil pemodelan ditunjukkan pada Gambar 2, yang diperoleh dari matrik hasil pemodelan di Tabel 6, yang hasilnya dibandingkan dengan di pelabuhan utama untuk tahun dasar 2024 dengan total volume muat barang 38.598.156 ton dan total volume bongkar 50.317.165 ton (BPS, 2025a).



Gambar 2. Distribusi Pergerakan Barang hasil pemodelan menggunakan data BPS tahun 2024 di Pelabuhan Utama Antar Pulau di Indonesia

Sumber: Hasil pemodelan dengan DCGR

Tabel 5. Rekapitulasi hasil Iterasi untuk nilai A_i dan B_i

Iterasi Ke	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	B_1	B_2	B_3	B_4	B_5	Iterasi Ke
1	0,01089	0,01070	0,01077	0,01117	0,01112	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	0
3	0,01085	0,01070	0,01078	0,01116	0,01112	1,10159	0,97480	0,96849	1,02603	1,01917	2
5	0,01085	0,01070	0,01078	0,01116	0,01112	1,10168	0,97480	0,96845	1,02602	1,01916	4
7	0,01085	0,01070	0,01078	0,01116	0,01112	1,10168	0,97480	0,96845	1,02602	1,01916	6
9	0,01085	0,01070	0,01078	0,01116	0,01112	1,10168	0,97480	0,96845	1,02602	1,01916	8

Tabel 6. Matrik pergerakan antar pelabuhan hasil pemodelan

Zona	Be- lawan	Tj. Priok	Tj. Perak	Balik papan	Makas sar	o_i	O_i	E_i	A_i
Belawan	1,70	2,48	2,61	0,38	0,75	7,91	7,91	1,0000	0,01085
Tj. Priok	7,41	13,59	13,74	1,91	3,81	40,46	40,46	1,0000	0,01070
Tj. Perak	6,36	11,64	13,55	1,83	3,68	37,07	37,07	1,0000	0,01078
Balikpapan	0,66	1,17	1,32	0,21	0,40	3,76	3,76	1,0000	0,01116
Makassar	1,88	3,33	3,80	0,58	1,20	10,79	10,79	1,0000	0,01112
d_j	18,03	32,21	35,02	4,90	9,84	100			
D_d	18,03	32,21	35,02	4,90	9,84		100		
E_j	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000				
B_j	1,10168	0,97480	0,96845	1,02602	1,01916				

Simpulan

Model regresi yang menentukan bangkitan volume bongkar-muat barang adalah variabel X_3 -Pengeluaran per kapita memberikan nilai yang besar, $r = +0,548$ untuk bongkar dan $r = +0,767$ untuk muat. Keduanya menunjukkan jika pengeluaran meningkat maka volume bongkar-muat cenderung meningkat atau sebaliknya. Hubungan kedua variabel ini memberikan nilai hambatan atau parameter β dicari dengan metode kuadrat terkecil sebesar 0,47534946. Model DCGR memberikan nilai A_i dan B_i setelah pengulangan ke-8. Hasil pemodelan menunjukkan pola distribusi pergerakan atau volume bongkar/muat dari asal tujuan pelabuhan yang dapat menjelaskan lebih lanjut informasi bongkar/muat dari data BPS. Pemodelan juga menunjukkan terdapat volume bongkar/muat dari pelabuhan yang tidak diketahui dan diasumsikan sebagai volume dari pelabuhan lainnya sebagai pelabuhan yang berada dalam jaringan pelabuhan utama.

Daftar Pustaka

- BPS. (2016). Banyaknya Rumah Tangga (Ribu Rumah Tangga), 2016. *Badan Pus. Stat.* [diunduh 2025 Apr 30]. Tersedia pada: <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/2/MTUzIzI=/banyaknya-rumah-tangga.html>
- BPS. (2020). Jumlah Penduduk Hasil Proyeksi Menurut Provinsi dan Jenis Kelamin (Ribu Jiwa). *Badan Pus. Stat.* [diunduh 2025 Apr 30]. Tersedia pada: <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/2/MTg4NiMy/jumlah-penduduk-hasil-proyeksi-menurut-provinsi-dan-jenis-kelamin--ribu-jiwa.html> (Diakses: 30 April 2025).
- BPS. (2023). Luas Daerah dan Jumlah Pulau Menurut Provinsi, 2023. *Badan Pus. Stat.* [diunduh 2025 Apr 30]. Tersedia pada: <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/3/VUZwV01tSlpPVIpsWIRKbmMxcFhhSGhEVjFoUFFUMDkjMw==/luas-daerah-dan-jumlah-pulau-menurut-provinsi--2023.html?year=2023>
- BPS. (2024). Jumlah Perusahaan Industri Skala Mikro dan Kecil Menurut Provinsi (Unit). *Badan Pus. Stat.* [diunduh 2025 Apr 30]. Tersedia pada: <https://www.bps.go.id/assets/statistics-table/2/NDQwIzI=/jumlah-perusahaan-industri-skala-mikro-dan-kecil-menurut-provinsi.html>
- BPS. (2025a). Bongkar/Muat Barang Angkutan Laut Antar Pulau di Pelabuhan Utama (Ton), 2006-2024. *Badan Pus. Stat.* [diunduh 2025 Apr 30]. Tersedia pada: <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/2/NjgjMg==/bongkar-muat-barang-angkutan-laut-antar-pulau-di-pelabuhan-utama--ton-.html> (Diakses: 30 April 2025)
- BPS. (2025b). Pengeluaran per Kapita yang Disesuaikan menurut Jenis Kelamin (Ribu Rupiah/Orang/Tahun). *Badan Pus. Stat.* <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/2/NDYxIzI=/pengeluaran-per-kapitayang-disesuaikan-menurut-jenis-kelamin.html>
- BPS. (2025c). Produk Domestik Regional Bruto per Kapita Atas Dasar Harga Berlaku Menurut Provinsi (ribu rupiah). *Badan Pus. Stat.* [diunduh 2025 Apr 30]. Tersedia pada: <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/3/YWtoQIRVZzNiMU5qU1VOSIRFeFZiRTR4VDJOTVVUMDkjMw==/produk-domestik-regional-bruto-per-kapita-atas-dasar-harga-berlaku-menurut-provinsi--ribu-rupiah---2022.html>

- Chang, J. S., Jung, D., Kim, J., & Kang, T. (2014). Comparative analysis of trip generation models: results using home-based work trips in the Seoul metropolitan area. *Transp. Lett.*, 6(2), 78–88. <https://doi.org/10.1179/1942787514Y.0000000011>
- Dragu, V., & Roman, E. A. (2019). The Origin-Destination Matrix Development. *Matec Web Conf.* 290, 1–10. <https://doi.org/10.1051/matecconf/201929006010>
- Hussain, E., Bhaskar, A., & Chung, E. (2021). Transit OD matrix estimation using smartcard data: Recent developments and future research challenges. *Transp. Res. Part C Emerg. Technol.* 125, 103044. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2021.103044>
- Khaerani, H., Nahry, & Kusuma, A. (2024). Travel pattern analysis and freight trip generation modeling of textile commodities. Case study: Thamrin City Shopping Center, Jakarta. *Transp. Res. Part C Emerg. Technol.* 1294(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1294/1/012024>
- Khairu, D. S., Nahry, Gani, A. A., & Adwitiya, R. I. (2024). Identifikasi Pola Perjalanan Dan Pemodelan Freight Trip Generation Komoditas Tekstil Studi Kasus: Pusat Perdagangan Tanah Abang, Jakarta. *Berk. FSTPT*, 2(1), 172–181.
- Mukherjee, J., & Raghuram Kadali, B. (2022). A comprehensive review of trip generation models based on land use characteristics. *T Transp. Res. Part D Transp. Environ.* 109, 103340. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2022.103340>
- Mulyono, T. (2023). *Pengantar Transportasi*. Yogyakarta: Deepublish.
- Mulyono, T. (2025). *Permintaan dan Pemodelan Pergerakan Transportasi*. Jakarta: D4-MPLM FT UNJ. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.28574456.v1>
- Obi Lawrence E. (2021). Application of gravity model for trip analysis in transportation and traffic engineering for Owerri Metropolis Nigeria. *Glob. J. Eng. Technol. Adv.* 7(1), 060–072. <https://doi.org/10.30574/gjeta.2021.7.1.0003>
- Ortúzar, J. de D., & Willumsen, L. G. (2011). *Modelling Transport* (4th ed.). United Kingdom: John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781119993308>
- Pidor, M. S., Karels, D. W., & Bolla, M. E. (2018). Bangkitan Perjalanan Dan Pola Pergerakan Penduduk Pada Kecamatan Kelapa Lima. *J. Tek. Sipil*, 7(2), 119–132.
- Qawasmeh, B. (2024). Estimation of Trip-based Generation Models and Calibration of Mode Choice Models for the American Travel Behavior. *Open Transp. J.* 18, 1–15. <https://doi.org/10.2174/0126671212348473241010122638>

- Saleh, S. M., Lulusi, Apriandy, F., Fisiani, J., Salmannur, A., & Faisal, R. (2021). Trip generation and attraction model and forecasting using machine learning methods. *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.* 1087(1), 012021. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1087/1/012021>
- Sea-Distancea.org. (2025). Sea Distances / Port Distances - online tool for calculation distances between sea ports [diunduh 2025 Jun 30]. Tersedia pada: <https://sea-distances.org/>
- Setiawan, L. (2023). Indeks Kinerja Logistik Indonesia 2023: Kinerja Kepabebean Meningkatkan, Infrastruktur Terjaga, Layanan Distribusi Masih Tersendat. *Direktorat Jenderal Anggaran, Kemenkue.* [diunduh 2023 Des 17]. Tersedia pada: <https://anggaran.kemenkeu.go.id/in/post/indeks-kinerja-logistik-indonesia-2023:-kinerja-kepabebean-meningkat,-infrastruktur-terjaga,-layanan-distribusi-masih-tersendat->
- Tamin, O. Z. (2000). *Perencanaan dan Pemodelan Transportasi* (Fourth). Bandung: ITB Press.
- Zhao, D., Mihăiță, A.-S., Ou, Y., Grzybowska, H., & Li, M. (2024). Origin–destination matrix estimation for public transport: A multi-modal weighted graph approach. *Transp. Res. Part C Emerg. Technol.* 165, 104694. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2024.104694>