

# ESTIMASI PARAMETER MODEL GRAVITY DENGAN METODE ENTROPI MAKSIMUM DAN FUNGSI HAMBATAN PANGKAT (STUDI KASUS KABUPATEN SUKOHARJO)

Slamet Jauhari Legowo, Syafi'i, Athaariq Bagus Widyaputra

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret  
Jl. Ir. Sutami 36A, Kentingan, Surakarta 57126, Telp. (0271) 634524, Fax 662118  
Email: slametjauhari@staff.uns.ac.id

## Abstract

The increasing population and economic growth in the Surakarta agglomeration area also have an impact on increasing the number of movements in and out of Sukoharjo regency and can lead to transportation problems. To solve the problem, an analysis of the matrix of origin for the destination is required. The purpose of this study is to find out the movement pattern of the Origin Destination Matrix (ODMatrix) from the value of the  $\beta$  parameters analyzed using the maximum entropy estimation method and the function of rank resistance while knowing the size of the movement pattern in 2021 and knowing the validity level of the modeling flow with observations of traffic flow in Sukoharjo regency. This research was conducted in Sukoharjo, which is directly adjacent to six surrounding cities. The method used is the maximum entropy and level obstacles function by retrieving traffic survey data at 31 points covering 12 internal zones and 24 external zones. The original matrix estimation uses a gravity model of the pullup boundary with the help of EMME/3 software, where there is a  $\beta$  parameter that contains a constraint function inside. The method for obtaining  $\beta$  parameters is the Newton-Raphson calibration method using the Microsoft Excel program. Validity test using a coefficient of determination ( $R^2$ ) The results of this study showed a value of  $\beta$  parameters of 0.080 with a validity rate ( $R^2$ ) of 0.827, and the total number of movements in Sukoharjo Regency in 2021 will be 16374 pcu/hour.

**Keywords:** EMME/3, gravity model, OD-matrix, parameter  $\beta$

## Abstrak

Meningkatnya pertumbuhan penduduk dan ekonomi di kawasan aglomerasi Surakarta juga berdampak pada peningkatan jumlah pergerakan di dalam maupun keluar masuk Kabupaten Sukoharjo serta dapat mengakibatkan permasalahan transportasi. Untuk mengatasi permasalahan tersebut diperlukan analisis estimasi matriks asal tujuan. Tujuan pada penelitian ini adalah untuk mengetahui pola pergerakan Matriks Asal Tujuan (MAT) dari nilai parameter  $\beta$  yang dianalisis menggunakan metode estimasi Entropi Maksimum dan fungsi hambatan pangkat. Sekaligus mengetahui besar pola pergerakan di tahun 2021 serta mengetahui tingkat validitas arus hasil permodelan dengan pengamatan arus lalu lintas di Kabupaten Sukoharjo. Penelitian ini dilakukan di Kabupaten Sukoharjo yang berbatasan langsung dengan 6 kabupaten kota di sekitarnya. metode yang digunakan adalah Entropi Maksimum dan fungsi hambatan pangkat dengan mengambil data survey lalu lintas di 31 titik yang mencakup 12 zona internal 24 zona eksternal. Estimasi matriks asal tujuan menggunakan model *gravity* batasan bangkitan-tarikan dengan bantuan software EMME/3 dimana terdapat parameter  $\beta$  yang memuat fungsi hambatan didalamnya. Metode untuk memperoleh parameter  $\beta$  adalah metode kalibrasi Newton-Raphson menggunakan program Microsoft Excel. Uji Validitas menggunakan koefisien determinasi ( $R^2$ ) Hasil penelitian ini menunjukkan nilai parameter  $\beta$  sebesar 0.080, dengan tingkat validitas ( $R^2$ ) sebesar 0,827, dan jumlah total pergerakan di Kabupaten Sukoharjo pada tahun 2021 adalah 16374 smp/jam

**Kata Kunci :** EMME/3, model *gravity*, MAT, parameter  $\beta$

## PENDAHULUAN

Meningkatnya pertumbuhan penduduk di suatu kawasan perkotaan dapat menyebabkan masalah serius bagi sistem transportasinya, oleh karena itu diperlukan analisis perencanaan transportasi untuk memodelkan jumlah pergerakan demi mengatasi kemacetan di masa yang akan datang. Salah satu konsep perencanaan transportasi yang paling populer digunakan adalah model perencanaan transportasi empat tahap (*four stage transportation model*), yang terdiri dari *trip generation* atau bangkitan dan tarikan pergerakan, *trip distribution* atau distribusi pergerakan, *modal choice* atau pemilihan moda transportasi, dan *trip assignment* atau pembebanan lalu lintas (Astria, dkk, 2015; Fika, dkk, 2016; Dananto, 2019).

*Trip distribution* atau sebaran pergerakan lalu lintas adalah suatu tahapan permodelan transportasi yang memperkirakan sebaran pergerakan yang meninggalkan suatu zona atau menuju suatu zona dimana memperhitungkan sistem kegiatan dan sistem jaringan (Hendarwati, dkk, 2014; Monika, 2015; Septiyani, 2015).

*Trip distribution* merepresentasikan jumlah perjalanan dari zona asal  $i$  ( $O_i$ ) ke zona tujuan  $j$  ( $D_j$ ), yang biasa ditulis dalam bentuk Matriks Asal-Tujuan (MAT) atau *Origin-Destination Matrix* (OD-Matrix), atau juga dapat dinyatakan dengan garis keinginan (*desire line*).

Salah satu bentuk representasi dari jumlah perjalanan yaitu Matriks Asal-Tujuan (MAT) yang merupakan matriks yang terdiri dari kolom dan baris. Baris menunjukkan jumlah perjalanan yang berasal dari zona  $i$  sedangkan kolom menunjukkan perjalanan yang menuju zona  $j$ . Ada banyak model yang digunakan dalam merepresentasikan matriks asal tujuan salah satunya yaitu model *Gravity*. Model *Gravity* yang digunakan untuk merepresentasikan MAT dikembangkan dari hukum gravitasi newton memiliki asumsi bahwa bangkitan dan tarikan pergerakan berkaitan dengan beberapa parameter zona asal, misalnya populasi dan sel matriks asal tujuan yang berkaitan dengan kemudahan dan aksesibilitas sebagai fungsi jarak, waktu, dan biaya.

Fungsi ukuran aksesibilitas dan kemudahan atau fungsi hambatan digambarkan dengan  $f(C_{id})$  dan umumnya diasumsikan dengan rute tercepat, termurah, atau terpendek yang dapat ditempuh. Dalam proses pengestimasi matriks asal tujuan dengan model *Gravity* maka dibutuhkan sebuah fungsi hambatan yang didalamnya terdapat parameter  $\beta$ . Dalam mengestimasi parameter  $\beta$  pada fungsi hambatan maka diperlukan metode untuk melakukan proses kalibrasi. Salah satu metode estimasi yang digunakan pada penelitian ini yaitu metode estimasi entropy maksimum yang digunakan dalam proses kalibrasi parameter  $\beta$ . Studi kasus pada penelitian ini adalah Kabupaten Sukoharjo.

Sebagai salah satu kawasan penyangga dari area solo raya, Kabupaten Sukoharjo yang memiliki jumlah penduduk mencapai 906.403 di tahun 2019 dan diikuti oleh pertumbuhan produk domestik regional bruto sebesar 5,92% atau meningkat 0,13% dari tahun sebelumnya maka akan meningkatkan jumlah pergerakan lalu lintas di Kawasan tersebut. Oleh karena itu diperlukan sebuah kajian estimasi parameter model *gravity* untuk memperkirakan jumlah pergerakan di Kabupaten Sukoharjo untuk mewujudkan tatanan transportasi yang baik di Kabupaten Sukoharjo. Pada penelitian ini penulis menggunakan metode Entropi Maksimum dan fungsi hambatan pangkat batasan bangkitan pergerakan karena sebelumnya belum pernah dilakukan penelitian di Kabupaten Sukoharjo menggunakan metode tersebut

### **Konsep Perencanaan Transportasi**

Dalam melakukan kajian untuk memperkirakan jumlah perjalanan di suatu zona diperlukan perencanaan transportasi. Salah satu model perencanaan transportasi yang paling sering digunakan adalah model perencanaan transportasi empat tahap (*four-step transport model*). Tahap yang pertama yaitu model bangkitan dan tarikan pergerakan (*trip generation*) tahap ini adalah tahapan permodelan yang memperkirakan jumlah perjalanan dari dan menuju suatu zona yang tertarik ke suatu zona atau tata guna lahan. Tahap yang kedua yaitu distribusi pergerakan lalu lintas (*trip distribution*). Tahap ini memperkirakan sebaran pergerakan lalu lintas dari dan menuju suatu zona. Tahap yang ketiga adalah pemilihan moda transportasi (*modal choice*). Tahap ini memperkirakan jenis moda yang dipilih untuk melakukan perjalanan dari dan menuju suatu zona. Tahap keempat adalah pembebanan lalu lintas (*trip assignment*). Hasil dari tahap ini adalah untuk mendapatkan arus lalu lintas pada ruas jalan yang ditinjau.

### ***Trip Distribution***

*Trip distribution* atau sebaran pergerakan lalu lintas merupakan suatu tahapan permodelan yang memperkirakan sebaran pergerakan yang meninggalkan suatu zona atau menuju suatu zona dimana memperhitungkan sistem kegiatan dan sistem jaringan. Distribusi pergerakan lalu lintas dapat diwujudkan dalam beberapa bentuk antara lain matriks asal tujuan (MAT) atau juga dapat dinyatakan dengan garis keinginan (*desire line*)

### **Matriks Asal Tujuan (MAT)**

Sebagai salah satu bentuk representasi dari pergerakan lalu lintas, matriks asal tujuan berisi informasi distribusi pergerakan dari dan menuju suatu zona (Sutrisni dan Setiono, 2014; Astutik, 2020). Matriks asal tujuan berbentuk tabel dengan baris yang menunjukkan zona asal sedangkan kolom menunjukkan zona tujuan. Pertemuan antara kolom dengan baris menunjukkan jumlah pergerakan lalu lintas dari zona asal ke zona tujuan. dalam penelitian ini untuk mengestimasi matriks asal tujuan perjalanan guna mengetahui distribusi perjalanan pada jaringan jalan di Kabupaten Sukoharjo menggunakan metode sintesis. Metode sintesis yang umum digunakan adalah model *Gravity*.

**Model Gravity**

Model *Gravity* ini menggunakan konsep *gravity* yang dipopulerkan oleh newton pada tahun 1686 yang dikembangkan dari analogi hukum gravitasi (Tamin, 2008). Konsep gravitasi dalam tahap perencanaan transportasi yaitu pergerakan atau tarik menarik antara kedua zona yang dipengaruhi oleh trip generation (Gelhausen dan Berster, 2017; Chairunnisa, dkk, 2020; Martinez, 2021). Model *Gravity* dapat dirumuskan dalam bentuk persamaan sebagai berikut, dimana jumlah perjalanan dari zona asal i (O<sub>i</sub>), jumlah perjalan ke zona tujuan j (D<sub>j</sub>),  $f(C_{id})$  adalah fungsi hambatan,  $T_{id}$  adalah jumlah perjalan dari zona asal ke zone tujuan, dan  $A_i, B_d$  adalah faktor penyeimbang.

$$T_{id} = O_i \cdot D_j \cdot A_i \cdot B_d \cdot f(C_{id}) \dots\dots\dots [1]$$

Pada penelitian ini menggunakan fungsi hambatan pangkat, dengan parameter  $\beta$ , digunakan sebagai ukuran aksesibilitas dari zona asal menuju zona tujuan, fungsi hambatan pangkat dapat dituliskan pada persamaan berikut

$$f(C_{id}) = C_{id}^{-\beta} \dots\dots\dots [2]$$

Batasan yang digunakan sebagai faktor penyeimbang pada penelitian ini adalah batasan bangkitan dan tarikan, sehingga nilai A<sub>i</sub> dan B<sub>d</sub> dituliskan pada persamaan berikut

$$A_i = \frac{1}{\sum_d(B_d \cdot D_d \cdot f_{id})} \dots\dots\dots [3]$$

$$B_i = \frac{1}{\sum_d(A_i \cdot O_i \cdot f_{id})} \dots\dots\dots [4]$$

**Metode Entropi Maksimum**

Metode Entropi Maksimum digunakan guna memperoleh semua status makro yang hendak terjadi dengan kemungkinan yang sama dengan status makronya (Syafi'i, 2015). Metode entropi maksimum menghasilkan parameter  $\beta$  yang merupakan nilai hubungan antar zona. Setelah diperoleh nilai parameter  $\beta$  kemudian dilanjutkan pada tahap pembebanan arus lalu lintas (*trip assignment*) pada Matriks asal tujuan model *Gravity*. Proses pembebanan MAT ini dilakukan menggunakan bantuan perangkat lunak EMME/3. Perangkat lunak tersebut berfungsi sebagai alat bantu permodelan dan pembebanan dengan cara memasukkan data primer dan data sekunder. Metode Entropi Maksimum dapat dirumuskan seperti persamaan 5 sebagai berikut, Dimana N adalah total jumlah zona.

$$\frac{\partial E_1}{\partial \beta} = f_\beta = - \sum_{i=1}^N \sum_{d=1}^N \left[ \left( \frac{\partial T_{id}}{\partial \beta} \right) \cdot \left( \log_e \frac{T_{id}}{\bar{T}_{id}} \right) \right] = 0 \dots\dots [5]$$

**Kalibrasi Newton-Raphson**

Kalibrasi Newton-Raphson dilakukan untuk mendapatkan nilai parameter  $\beta$  dengan proses iterasi hingga nilai parameter  $\beta$  konvergen. Metode kalibrasi Newton-Raphson ini didasarkan pada pendekatan nilai  $f(\beta)$  dengan menggunakan deret Taylor. Nilai parameter  $\beta$  didapatkan dari persamaan 6 berikut

$$h = - \frac{f}{\frac{\partial f}{\partial \beta}} \dots\dots\dots [6]$$

Nilai h pada persamaan 6 kemudian digunakan untuk mendapatkan nilai pendekatan berikut:

$$\beta_1 = \beta_0 + h \dots\dots\dots [7]$$

**Indikator Uji Statistik**

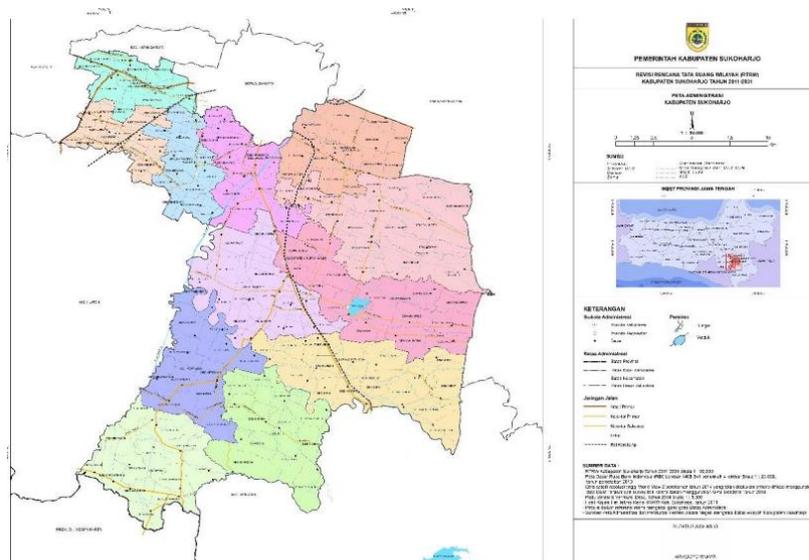
Tingkat keakuratan matriks asal tujuan yang dihasilkan dari data arus lalu lintas dapat ditentukan dengan beberapa uji statistik. Indikator uji statistik yang digunakan pada penelitian ini adalah Koefisien determinasi R<sup>2</sup>. Semakin mendekati nilai 1 (satu) koefisien determinasinya maka data hasil pengamatan dengan data hasil permodelan semakin mirip. Menurut Tamin (2000), persamaan koefisien determinasi dapat ditulis seperti persamaan 8 berikut dengan  $y_i$  adalah nilai actual,  $\hat{y}_i$  adalah nilai prediksi, dan  $\bar{y}$  adalah nilai rata-rata.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum(y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum(y_i - \bar{y})^2} \dots\dots\dots [8]$$

**METODE**

**Lokasi Penelitian**

Lokasi pada penelitian ini berada di Kabupaten Sukoharjo Provinsi Jawa Tengah. Kabupaten Sukoharjo memiliki luas wilayah 489,12 km<sup>2</sup> dan merupakan salah satu daerah penyangga yang ada di eks Karesidenan Surakarta. Kabupaten Sukoharjo yang berpusat di Sukoharjo secara geografis berbatasan langsung dengan 6 Kabupaten Kota yaitu Kota Surakarta dan Kabupaten Karanganyar pada sisi utara, Kabupaten Karanganyar pada bagian timur, Kabupaten Wonogiri dan Kabupaten Gunung Kidul pada bagian sisi selatan, dan pada bagian barat berbatasan dengan Kabupaten Klaten dan Kabupaten Boyolali. Peta Administrasi Kabupaten Sukoharjo dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta administrasi Kabupaten Sukoharjo

Pada penelitian ini, untuk mempermudah proses analisis maka dilakukan pembagian zona. Pembagian zona dibagi berdasarkan jumlah kecamatan yang ada di Kabupaten Sukoharjo yaitu sebanyak 12 kecamatan, dan zona eksternal sebanyak 24 zona. Zona eksternal tersebut dianggap mewakili arus keluar-masuk yang ada di Kabupaten Sukoharjo

**Pengumpulan data**

Metode pengumpulan data pada penelitian ini terdiri dari dua jenis data yaitu data sekunder dan data primer, data primer yang digunakan diperoleh melalui survei lapangan berupa jumlah volume arus lalu lintas yang melintasi suatu ruas jalan yang titiknya sudah ditentukan sebelumnya. Survei volume lalu lintas dilaksanakan ada jam puncak pagi yaitu mulai pukul 07.00-08.00 WIB kemudian dari hasil survei tersebut diolah dengan mengacu pada Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI 1997) untuk dikonversi menjadi satuan mobil penumpang (smp). Data sekunder berupa peta administrasi Kabupaten Sukoharjo, peta jaringan jalan Kabupaten Sukoharjo dan data ruas jalan Kabupaten Sukoharjo digunakan sebagai data pendukung data primer. Data sekunder yang digunakan berasal dari beberapa instansi di Kabupaten Sukoharjo.

**Pengolahan Basis Data Jaringan Jalan**

Pada penelitian ini pengolahan basis data jaringan jalan digunakan untuk mendapatkan pola jaringan jalan yang kemudian diinput melalui *software* EMME/3. Pengolahan basis data jaringan jalan diawali dengan melakukan perhitungan kapasitas jalan, kemudian perhitungan waktu tempuh, perhitungan kecepatan, dan mengubah satuan konversi kendaraan menjadi satuan mobil penumpang berdasarkan MKJI 1997.

**Matriks Asal Tujuan Hasil Estimasi EMME/3**

Basis data jaringan jalan yang diperoleh pada tahap sebelumnya berdasarkan MKJI 1997 kemudian diinput ke dalam software EMME/3 melalui *network editor*. Hasil dari tahap ini adalah mendapatkan Matriks Asal tujuan (MAT) hasil estimasi EMME/3. Hasil matriks ini kemudian diuji tingkat validitasnya menggunakan koefisien determinasi ( $R^2$ ). MAT baru hasil estimasi kemudian digunakan pada proses kalibrasi parameter  $\beta$ , kemudian dibebankan pada jaringan jalan sehingga diperoleh jumlah arus lalu lintas hasil permodelan.

Tabel 1. Bentuk umum matriks asal tujuan

i/j	1	2	3	...	z	$\sum_j T_{ij}$
1	$T_{11}$	$T_{12}$	$T_{13}$	...	$T_{1z}$	$O_1$
2	$T_{21}$	$T_{22}$	$T_{23}$	...	$T_{2z}$	$O_2$
3	$T_{31}$	$T_{32}$	$T_{33}$	...	$T_{3z}$	$O_3$
.	.	.	.	...	.	.
.	.	.	.	...	.	.
z	$T_{z1}$	$T_{z2}$	$T_{z3}$	...	$T_{zz}$	$O_z$
$\sum_i T_{ij}$	$D_1$	$D_2$	$D_3$	...	$D_z$	$\sum_j T_{ij}$

**Kalibrasi Parameter  $\beta$**

Matriks Asal Tujuan (MAT) Hasil Estimasi kemudian digunakan untuk mengkalibrasi parameter  $\beta$ , proses kalibrasi parameter  $\beta$  dengan fungsi hambatan pangkat dilakukan melalui kalibrasi Newton-Raphson secara berulang ulang menggunakan program Microsoft Excel hingga parameter  $\beta$  mencapai konvergensinya

**Matriks Asal Tujuan Hasil Permodelan**

Parameter  $\beta$  yang telah diperoleh menggunakan model *gravity* batasan bangkitan tarikan menggunakan program Microsoft Excel kemudian digunakan untuk mengestimasi matriks asal tujuan MAT Kabupaten Sukoharjo tahun 2021 sehingga didapatkan matriks asal tujuan (MAT) hasil permodelan

**Pembebanan Arus Lalu Lintas Hasil Permodelan**

Matriks asal tujuan hasil permodelan yang telah diperoleh kemudian dibebankan ke jaringan jalan menggunakan software EMME/3. Pembebanan arus lalu lintas menggunakan metode *User Equilibrium* dimana metode ini berasumsi bahwa pengguna jalan akan memilih rute perjalanan berdasarkan waktu perjalanan dan pengguna jalan mengetahui waktu perjalanan yang akan dilewati pada semua rute yang tersedia. Proses pembebanan ini menghasilkan arus lalu lintas pada setiap ruas di Kabupaten Sukoharjo.

**Uji Validitas arus lalu lintas**

Arus lalu lintas yang diperoleh melalui tahap pembebanan (*trip assignment*) kemudian diuji tingkat validitasnya menggunakan uji Koefisien Determinasi ( $R^2$ ) dengan arus lalu lintas hasil pengamatan *traffic count*.

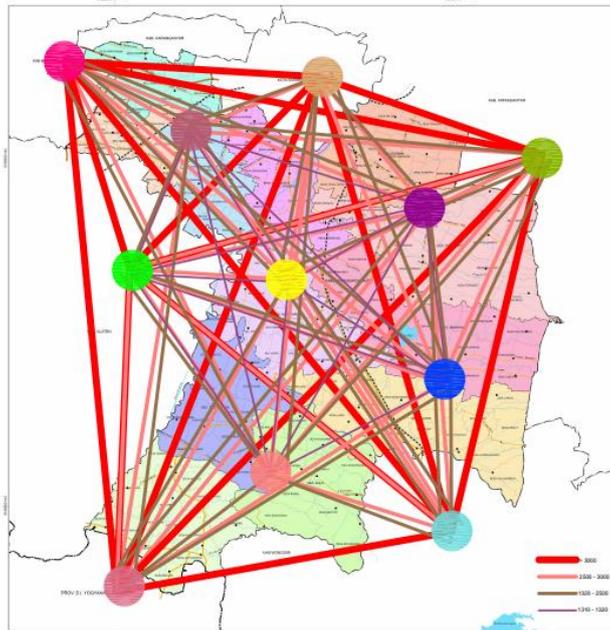
**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Parameter  $\beta$  sebagai Fungsi Hambatan**

Nilai parameter  $\beta$  pada persamaan Model *Gravity* didapat melalui kalibrasi Newton-Rhapson menggunakan bantuan software Microsoft Excel hingga parameter  $\beta$  mencapai batas koverensi atau nilai h mendekati 0. Nilai parameter  $\beta$  diperoleh sebesar 0,080

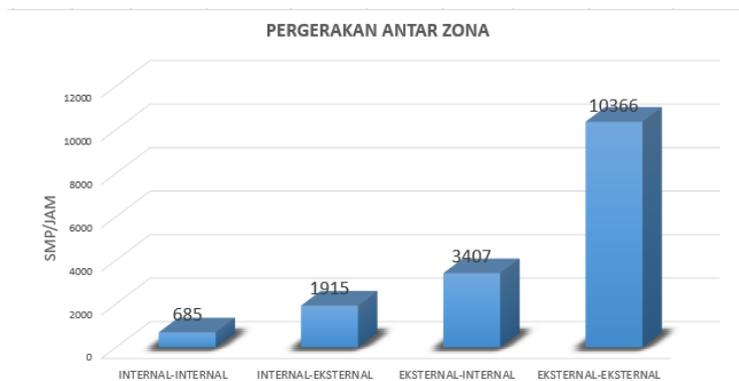
**Distribusi Pergerakan**

Dari hasil analisis estimasi matriks asal tujuan hasil permodelan di Kabupaten Sukoharjo tahun 2021 menggunakan model *Gravity* batasan bangkitan-tarikan diperoleh jumlah pergerakan sebesar 16.374 smp/jam. Hasil tersebut dapat digambarkan dalam bentuk garis keinginan (*desire line*), garis keinginan yang terjadi di kabupaten Sukoharjo tahun 2021 dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. *Desire line* Kabupaten Sukoharjo

Gambar 2. diatas menggambarkan total pergerakan yang terjadi di Kabupaten Sukoharjo dimana terdapat 5 titik zona internal dan 6 titik zona eksternal. Tebal garis yang menghubungkan antar titik menunjukkan banyaknya pergerakan antar zona. Semakin tebal garis pada *desire line* maka semakin tinggi jumlahnya. Perbandingan jumlah pergerakan antar zona di Kabupaten sukoharjo dapat dilihat seperti gambar 3 berikut



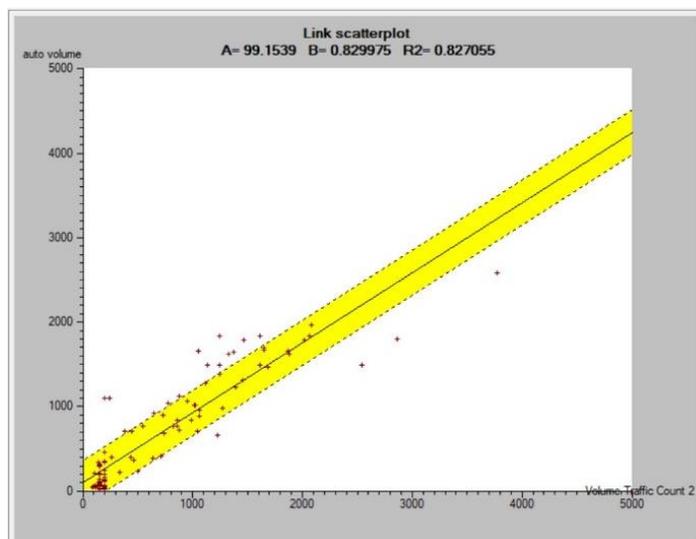
Gambar 3. Pergerakan antar zona di Kabupaten Sukoharjo tahun 2021

Pergerakan antar zona eksternal-eksternal berada pada posisi tertinggi jika dibandingkan dengan pergerakan antar zona yang lain yakni sebesar 10366 smp/jam, diikuti dengan pergerakan zona eksternal internal sebesar 3407 smp/jam, pergerakan zona internal eksternal sebesar 1915 smp/jam, dan jumlah pergerakan terkecil sebesar 685 smp/jam pada zona internal internal.

Hasil pergerakan antar zona eksternal-eksternal menunjukkan nilai terbesar di antara pergerakan antar zona lainnya. Hal ini dikarenakan Kabupaten Sukoharjo dilintasi oleh jalan arteri primer yaitu jalan Semarang-Solo dan jalan Yogya-Solo yang merupakan urat nadi perekonomian antar wilayah di Provinsi Jawa Tengah sehingga mempengaruhi jumlah pergerakan di Kabupaten Sukoharjo. Jumlah pergerakan eksternal-internal pada penelitian ini berada di peringkat kedua, hal ini disebabkan karena banyaknya kawasan industri yang ada di Kabupaten Sukoharjo sehingga mengakibatkan adanya peningkatan volume kendaraan yang didominasi kendaraan berat industri yang masuk ke Kabupaten Sukoharjo dan juga adanya pergerakan tenaga kerja dari luar wilayah Kabupaten Sukoharjo menuju Kabupaten Sukoharjo pada pagi hari.

### Uji Validitas

Uji validitas menunjukkan tingkat kemiripan antara hasil permodelan dengan MAT hasil *traffic count* menggunakan perhitungan regresi linear dengan bantuan *software* EMME/3 dimana koefisien determinasi ( $R^2$ ) pada penelitian ini didapatkan hasil sebesar 0,827. Berdasarkan syarat rentang koefisien determinasi, angka tersebut berada dalam rentang 0,80-1,00 dimana pada rentang tersebut menunjukkan tingkat validitas yang sangat tinggi. Hasil uji validitas dapat dilihat pada Gambar 4 berikut.



Gambar 4. Hasil kalibrasi parameter  $\beta$

### SIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pengolahan data estimasi jumlah pergerakan di Kabupaten Sukoharjo, maka dapat disimpulkan, bahwa:

1. Nilai parameter  $\beta$  atau nilai fungsi hambatan pangkat yang diperoleh melalui perhitungan kalibrasi Newton-Raphson dengan bantuan Microsoft Excel sebesar 0,080
2. Nilai total estimasi pergerakan yang terjadi di Kabupaten Sukoharjo pada tahun 2021 setelah dianalisis menggunakan model *Gravity* batasan bangkitan tarikan yaitu sebesar 16374 smp/jam.
3. Uji validitas yang digunakan yaitu koefisien determinasi ( $R^2$ ) antara perbandingan arus lalu lintas *traffic count* dengan hasil permodelan yaitu sebesar 0,827

### REKOMENDASI

Adapun rekomendasi yang dapat penulis sampaikan untuk penelitian selanjutnya adalah:

1. Penambahan titik survey, hal ini bertujuan agar hasil penelitian lebih akurat dengan kondisi di lapangan
2. Menggunakan basis data jaringan jalan yang telah diperbaharui agar hasil permodelan dapat mendekati hasil survey di lapangan.
3. Perlu adanya penelitian lanjutan tentang karakteristik dan klasifikasi fungsi jalan dari berbagai pengguna jalan pada pergerakan bangkitan dan tarikan.

### UCAPAN TERIMAKASIH

Pada kesempatan kali ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada instansi di Kabupaten Sukoharjo yakni Badan Perencana Pembangunan Daerah, Departemen Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang, dan Dinas Perhubungan yang telah memberikan bantuan sehingga penelitian ini dapat terselesaikan. Ucapan terima kasih juga penulis ucapkan kepada orang tua, saudara dan rekan rekan yang selalu mendukung penelitian ini

### REFERENSI

Anonim, 1997, "Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) 1997", Direktorat Jendral Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum RI. Jakarta

- Astria, Zuli, Syafi'i, dan Legowo, Selamat Jauhari., 2015, "Estimasi Matrik Asal Tujuan dari Data Arus Lalu Lintas dengan Metode Estimasi Entropi Maksimum Menggunakan Piranti Lunak EMME/3 (Studi Kasus Kota Surakarta)". The 18th FSTPT International Symposium, Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Astutik, H.P., 2020. Pergerakan Distribusi Matrik Asal Tujuan Transportasi Barang Internal Di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. *Jurnal Kacapuri: Jurnal Keilmuan Teknik Sipil*, 3(2), pp.8-15.
- Chairunnisa, A.S., Asri, S., Bochary, L. and Firmansyah, M.R., 2020, June. Modeling Origin Destination Matrix in the Inter Island Cluster of North Liukang Using Gravity Model. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 875, No. 1, p. 012083). IOP Publishing.
- Dananto, Atha Fauzan Kito., 2019, "Studi Peramalan Kinerja Jaringan Jalan di Kota Surakarta pada Tahun 2035 Dengan Jaringan Jalan Tetap dan Dengan Penambahan Jaringan Jalan Baru", Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret. Surakarta
- Fika, Z., Syafi'i., dan Slamet, Jauhari Legowo., 2016, "Estimasi Distribusi Perjalanan Kota Surakarta Tahun 2025 Menggunakan Model Gravity", Skripsi, Surakarta: Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Sebelas Maret.
- Gelhausen, M. and Berster, P., 2017. A gravity model for estimating passenger origin-destination flows between countries worldwide.
- Hendarwati, P., Syafi'i., dan Setiono., 2014, "Estimasi Matriks Asal Tujuan Perjalanan Menggunakan Model Gravity Dengan Fungsi Hambatan Eksponensial Negatif Di Kota Surakarta", Skripsi, Surakarta: Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Sebelas Maret.
- Martinez, O., Garcia, J.M. and Kumar, N., 2021. The gravity model as a tool for decision making. Some highlights for Indian roads. *Transportation research procedia*, 58, pp.333-339.
- Monica, Elfa Z, 2015, "Estimasi Matriks Asal Tujuan (MAT) dari Data Arus Lalu Lintas dengan Metode Estimasi Kuadrat Terkecil Menggunakan Piranti Lunak EMME/3 (Studi Kasus Kota Surakarta)", Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Sebelas Maret. Surakarta
- Septiyani, Wulan., 2015, "Estimasi MAT dari Data Lalu Lintas Dengan Metode Inferensi-Bayes Menggunakan EMME", Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret. Surakarta
- Sutrisni, S. and Setiono, S., 2014. Estimasi Matriks Asal Tujuan (Mat) Kota Surakarta Tahun 2025. *Matriks Teknik Sipil*, 2(2), pp.237-241.
- Syafi'i., 2015, "Trip Distribution", <https://syafii.staff.uns.ac.id/files/2010/02/bab-5-trip-distribution.pdf>
- Tamin, O.Z., 2000, "Perencanaan dan Permodelan Transportasi", ITB Press. Bandung
- Tamin, O.Z., 2008, "Perencanaan, Permodelan, dan Rekayasa Transportasi", ITB Press. Bandung.