

ESTIMASI DISTRIBUSI PERGERAKAN DI KABUPATEN SRAGEN DENGAN METODE INFERENSI-BAYES DAN FUNGSI HAMBATAN EKSPONENSIAL NEGATIF

Cesario Alvian Krisnanda
Program Studi Teknik Sipil
Universitas Sebelas Maret
Jl. Ir. Sutami No. 36 A Surakarta
cesariokrisnanda@gmail.com

Syafi'i¹
Program Studi Teknik Sipil
Universitas Sebelas Maret
Jl. Ir. Sutami No. 36 A Surakarta
syafii@staff.uns.ac.id

Dewi Handayani
Program Studi Teknik Sipil
Universitas Sebelas Maret
Jl. Ir. Sutami No. 36 A Surakarta
dewi@ft.uns.ac.id

Abstract

Huge intensity of activities in a specific area could cause transportation problems. Therefore, it's important to make a transportation planning, especially in the form of an origin-destination matrix using the Gravity Model and β parameter as the resistance function. This study's goal was to acquire the value of the β parameter, study area's total movement, and the validity level of the modeled traffic flow compared to the observed traffic flow. This Origin Destination Matrix estimations used the Gravity Model with generation and pulls as the constrains helped by the EMME/3 application. This Origin Destination Matrix estimation needed β parameter that's obtained by the Newton-Raphson Calibration Method with the User Equilibrium method resulted in modeled traffic flow. The β parameter of this study obtained from Microsoft Excel program calculations, which was 0.0800. The Origin Destination Matrix estimation bring out the total movement estimation of Sragen District in 2022 was 9,892 pcu/hour and had the validity level (R^2) of 0.7851.

Keywords: EMME/3, Origin Destination Matrix, Gravity Model, β parameter

Abstrak

Intensitas tinggi aktivitas di suatu area tertentu bisa menyebabkan permasalahan transportasi. Oleh karena itu, perlu dibentuk perencanaan transportasi, khususnya dalam bentuk Matriks Asal Tujuan menggunakan Model *Gravity* dan parameter β sebagai fungsi hambatan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan nilai parameter β , total pergerakan dalam wilayah kajian, dan tingkat validitas arus lalu lintas hasil pemodelan yang didapat dari perbandingan dengan arus lalu lintas pengamatan. Estimasi Matriks Asal Tujuan ini menggunakan Model *Gravity* dengan bangkitan dan tarikan sebagai batasan yang dibantu dengan aplikasi EMME/3. Estimasi Matriks Asal Tujuan ini membutuhkan parameter β yang didapatkan dengan Metode Kalibrasi Newton-Raphson dengan Metode *User Equilibrium* yang menghasilkan arus lalu lintas pemodelan. Parameter β yang didapatkan dari penelitian ini didapatkan dari kalkulasi program aplikasi *Microsoft Excel* adalah sebesar 0,0800. Estimasi Matriks Asal Tujuan menghasilkan total pergerakan estimasi dari Kabupaten Sragen pada tahun 2022 adalah 9.892 smp/jam dan memiliki tingkat validitas (R^2) sebesar 0,7851.

Kata Kunci: EMME/3, Matriks Asal Tujuan, Model *Gravity*, Parameter β

PENDAHULUAN

Pertumbuhan jumlah penduduk yang disertai oleh peningkatan intensitas kegiatan di suatu daerah akan menyebabkan terjadinya bangkitan dan tarikan pergerakan dari suatu zona menuju zona yang lainnya. Hal ini akan memengaruhi peningkatan volume lalu lintas yang berpengaruh dengan kinerja jaringan jalan apabila kapasitas suatu ruas jalan tidak bisa menampung volume lalu lintas pada ruas jalan tersebut, sehingga akan menyebabkan penurunan kinerja jaringan jalan atau bahkan menyebabkan kemacetan lalu lintas. Oleh

¹ Corresponding author: syafii@staff.uns.ac.id

karena itu, dibutuhkan pemodelan transportasi sebagai cara untuk mengatasi permasalahan tersebut. Pemodelan dilakukan dengan menggunakan *software* EMME/3, *software* EMME memudahkan dalam peramalan transportasi untuk memodelkan pergerakan orang ditingkat kota hingga nasional (INRO Consultant Inc., 2007). Pemodelan transportasi yang dapat memperkirakan distribusi pergerakan dari suatu zona yang tertarik ke zona lainnya disebut *trip distribution* yang dimodelkan dalam bentuk Matriks Asal Tujuan (MAT) atau digambarkan dalam bentuk *desire line*.

Matriks Asal Tujuan (MAT) didefinisikan sebagai matriks dua dimensi yang memberi penjelasan tentang total pergerakan antar zona pada wilayah studi. Estimasi dari Matriks Asal Tujuan menggunakan Model *Gravity* dengan parameter β yang merupakan parameter dari fungsi biaya pada sebaran pergerakan di suatu zona. Parameter β merupakan salah satu parameter yang berperan sebagai faktor penentu untuk mendapatkan sebaran pola pergerakan pada suatu jaringan jalan. Parameter β didapatkan dengan Metode Kalibrasi Newton-Raphson yang memiliki acuan pada pendekatan nilai $f(\beta)$ yaitu Metode Inferensi-Bayes.

Kabupaten Sragen adalah kabupaten yang terletak di Provinsi Jawa Tengah yang memiliki wilayah seluas 941,66 km² dan memiliki penduduk sebanyak 1.005.566 jiwa pada tahun 2021 semester 1. Kabupaten Sragen berbatasan dengan Jawa Timur sehingga mengakibatkan volume lalu lintas yang tinggi dan membuat beberapa ruas jalan tidak dapat menampungnya. Hal ini menyebabkan terjadinya masalah lalu lintas salah satunya adalah kemacetan. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian tentang estimasi Matriks Asal Tujuan (MAT) pada Kabupaten Sragen guna mendapatkan solusi terbaik dari masalah transportasi yang ada.

KAJIAN PUSTAKA

Ofyar Z. Tamin (2008) menjelaskan bahwa MAT (Matriks Asal Tujuan) sebagai matriks berdimensi dua yang berisikan informasi tentang besarnya pergerakan antar zona di dalam daerah tertentu, dengan baris yang menyatakan zona asal dan kolom yang menyatakan zona tujuan. Dalam konteks ini *Tid* menyatakan besaran arus pergerakan (penumpang, kendaraan, barang) yang bergerak dari zona asal i menuju zona tujuan d selama selang waktu tertentu. Perencanaan transportasi memiliki definisi proses yang bertujuan untuk mengembangkan sistem transportasi yang memungkinkan manusia dan barang bergerak atau berpindah tempat dengan aman dan murah (Tamin, 2008).

Sebelum dilakukan pembebanan lalu lintas, dibutuhkan data estimasi pergerakan suatu wilayah yang salah satunya adalah MAT. Estimasi MAT menggunakan data dari *prior matrix* dan data hasil *traffic count*. Pada tahun 2018, Syafi'i et.al. (2018a), menjalankan penelitian dengan mengestimasi MAT di Kota Surakarta dengan menggunakan Metode Kalibrasi Newton-Raphson dengan pendekatan Inferensi-Bayes (IB). Pengujian validitas dari penelitian ini menggunakan koefisien determinasi (R^2). Hasil akhir dari penelitian Syafi'i et.al. (2018a) tersebut adalah persentase pergerakan di Kota Surakarta dan juga mendapatkan hasil uji validitas yang sangat tinggi.

Penelitian terkait kinerja jaringan jalan juga telah dilakukan oleh beberapa peneliti lain seperti Syafi'i, Rusydy dan Handayani (2018b) yang mengestimasi pergerakan angkutan barang di Kota Surakarta dengan metode *maximum entropy*. Demikian juga Trisnawati et. al. (2018) yang mengestimasi pergerakan angkutan barang di Kota Surakarta dengan metode *maximum likelihood*. Kedua penelitian tersebut menggunakan *software* EMME/3. Dari hasil penelitian dapat diketahui bahwa total perjalanan MAT di Kota Surakarta pada saat jam sibuk sebesar 2642 smp/jam (Syafi'i et al., 2018b) dan 1788,2 smp/jam (Trisnawati et. al., 2018).

Dalam penelitian terkait dengan pola perjalanan, Aditama et.al., (2016) memperkaya hasil penelitian pergerakan orang menuju Kota Surakarta. Dengan menggunakan metode *purposive stratisfied, target population, dan sampling population*. didapatkan persentase pergerakan orang yang menuju Kota Surakarta untuk tujuan bekerja sebanyak 47 %, untuk pendidikan sebanyak 27 %, dan untuk berbelanja sebanyak 26 %. Hasil analisis tersebut didapatkan dari 347 orang partisipan. (Aditama et al, 2016).

Perbedaan penelitian ini dengan penelitian sebelumnya yaitu estimasi Matriks Asal Tujuan dilakukan di Kabupaten Sragen yang memang belum ada penelitian tentang Matriks Asal Tujuan sebelumnya. Penelitian ini adalah penelitian estimasi Matriks Asal Tujuan pertama yang menggunakan Kabupaten Sragen sebagai daerah kajian. Metode yang digunakan adalah Inferensi-Bayes dengan metode kalibrasi Newton-Raphson.

METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Wilayah studi penelitian ini adalah Kabupaten Sragen. Kabupaten Sragen terletak di Provinsi Jawa Tengah bagian Timur, Kabupaten Sragen memiliki tingkat kepadatan lalu lintas yang tinggi pada waktu tertentu. Secara geografis Kabupaten Sragen terletak pada 7°15 LS dan 7°30 LS serta 110°45 BT dan 111° 10 BT berbatasan dengan kabupaten lain, yaitu di sebelah Utara berbatasan dengan Kabupaten Grobogan, sebelah Selatan dengan Kabupaten Karanganyar, sebelah Barat dengan Kabupaten Boyolali dan sebelah Timur dengan Kabupaten Ngawi.

Zona adalah representasi dari sistem tata guna lahan suatu wilayah. Sistem pembagian zona pada penelitian ini berdasarkan jumlah kelurahan di Kabupaten Sragen yaitu 20 zona internal dan 7 zona eksternal yang berasal dari Kabupaten Karanganyar, Ngawi, Boyolali, dan lainnya. Peta administratif batas kelurahan di wilayah Kabupaten Sragen dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta Administrasi Kabupaten Sragen

Pembagian Zona

Pembagian zona mengacu pada batas administrasi kecamatan dikarenakan pada realita yang ada sangat sulit menggunakan keseragaman tata guna lahan untuk membuat batasan zona. Terdapat 27 zona yang terdiri atas 20 zona internal dan 7 zona eksternal. Uraian dari pembagian zona internal dan eksternal ditampilkan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Pembagian Zona Internal

No. Zona	Nama Zona	No. Zona	Nama Zona
701	Sumberlawang	711	Sragen
702	Mondokan	712	Ngrampal
703	Sukodono	713	Sambungmacan
704	Gesi	714	Gondang
705	Tangen	715	Kalijambe
706	Jenar	716	Plupuh
707	Miri	717	Masaran
708	Gemolong	718	Karangmalang
709	Tanon	719	Kedawung
710	Sidoharjo	720	Sambirejo

Sumber: Hasil Penelitian MAT Tahun 2022

Tabel 2. Pembagian Zona Eksternal

No. Zona	Nama Zona
721	Sumberlawang
722	Mondokan
723	Sukodono
724	Gesi
725	Tangen
726	Jenar
727	Miri

Sumber: Hasil Penelitian MAT Tahun 2022

Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data primer dilaksanakan dengan pengambilan data arus lalu lintas tahun 2022 (*traffic count*) di titik lokasi penelitian. Pelaksanaan survei dilakukan pada hari kerja selama 2 jam pada pukul 06.00-08.00 WIB dengan interval waktu 15 menit. Data yang diperoleh kemudian diolah sesuai dengan ketentuan MKJI 1997 (Direktorat Jenderal Bina Marga, 1997) sebagai acuan perhitungan. Pengumpulan data sekunder pada penelitian ini dilakukan dengan cara mengambil data dari instansi terkait, dalam hal ini adalah Departemen Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang (DPUPR) Kabupaten Sragen, BAPPEDA Kabupaten Sragen, dan Dinas Perhubungan (DISHUB) Kabupaten Sragen.

Matriks Asal Tujuan Hasil Estimasi

Matriks Asal Tujuan hasil estimasi diperoleh dengan serangkaian tahap yang meliputi:

1. Memasukkan basis data jaringan jalan yang telah didapatkan, yaitu jenis moda transportasi, kapasitas jalan, simpul, *link*, tipe jalan, koordinat, dan lebar jalan ke dalam aplikasi EMME/3.
2. Memasukkan *prior matrix* yang telah diperoleh sebelumnya ke dalam aplikasi EMME/3.
3. Hasil matriks baru tahun 2022 yang didapatkan dari aplikasi EMME/3 digunakan untuk rangkaian kalibrasi parameter β yang selanjutnya akan dibebankan terhadap jaringan jalan untuk mendapatkan arus lalu lintas hasil pemodelan yang selanjutnya akan dilakukan uji validitas terhadap arus lalu lintas hasil pengamatan

Estimasi Matriks Asal Tujuan Hasil Pemodelan

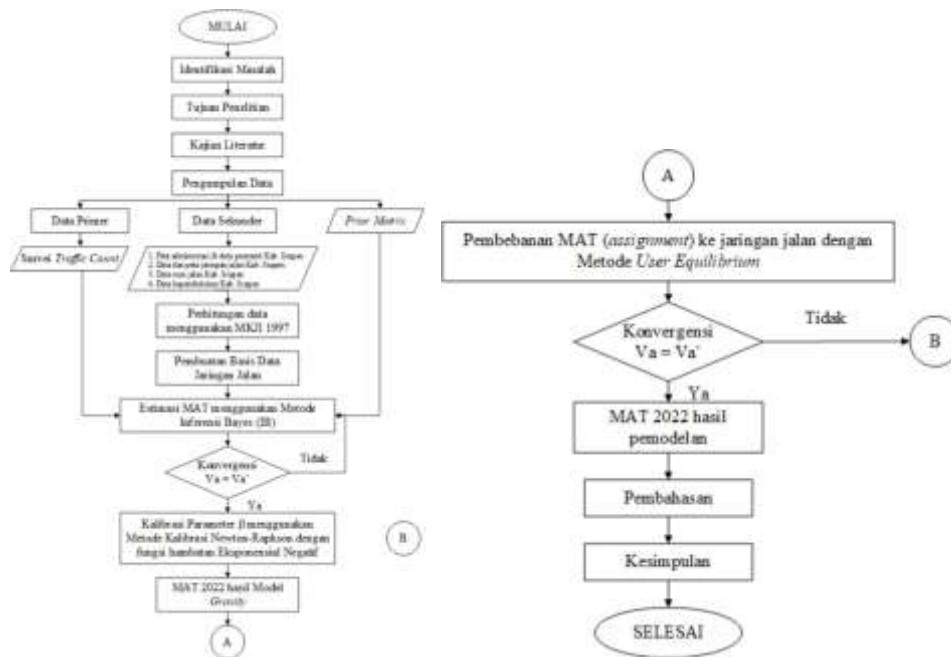
Nilai parameter β didapatkan dengan Metode Penaksiran Inferensi-Bayes yang mendapatkan bantuan perhitungan dari aplikasi *Microsoft Excel* yang dilanjutkan dengan kalibrasi Newton-Raphson hingga mendapatkan hasil yang konvergen. Nilai parameter β yang diperoleh dengan metode kalibrasi Newton-Raphson akan digunakan untuk mengestimasi Matriks Asal Tujuan tahun 2022 menggunakan Model *Gravity*.

Pembebanan Matriks Asal Tujuan ke Jaringan Jalan

Matriks Asal Tujuan tahun 2022 selanjutnya akan dibebankan terhadap jaringan jalan menggunakan aplikasi EMME/3 melalui proses *assignment* menggunakan metode *User Equilibrium* dan dengan pendekatan algoritma Frank Wolfe. Metode pemodelan *equilibrium* mempunyai asumsi dasar bahwa setiap pengemudi mencoba meminimalkan biaya perjalanan. Biaya yang dimaksud adalah menyatakan biaya untuk penggunaan perjalanan, namun terkadang biaya ini juga digunakan untuk menyatakan *generalized cost*, yaitu kombinasi dari waktu tempuh, jarak, dan biaya perjalanan yang lain.

Tahapan Penelitian dan Analisis Data

Tahapan penelitian dan analisis data dapat dilihat pada *flowchart* penelitian (Gambar 2).



Gambar 2. Flowchart Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Fungsi Hambatan

Nilai dari parameter β diperoleh dalam penelitian ini melalui proses Kalibrasi Newton-Raphson dengan metode Inferensi-Bayes dan fungsi hambatan eksponensial negatif pada penelitian ini adalah sebesar 0,0800.

Model Gravity

Model *Gravity* merupakan metode sintesis (interaksi spasial) yang sering digunakan karena begitu sederhana dan mudah digunakan. Secara umum, Model *Gravity* dinyatakan dalam bentuk persamaan (1).

$$T_{id} = O_i \cdot D_d \cdot A_i \cdot B_d \cdot f(C_{id}) \quad (1)$$

Keterangan:

- T_{id} = Total pergerakan dari zona asal (i) menuju zona tujuan (d)
- O_i = Total pergerakan zona tujuan (d)
- A_i dan B_d = Faktor penyeimbang pada masing-masing zona asal (i) dan zona tujuan (d)
- $F(C_{id})$ = Ukuran aksesibilitas atau fungsi hambatan antar zona (i) dan zona (d)

Penelitian ini menggunakan fungsi hambatan eksponensial negatif yang dijabarkan dalam bentuk persamaan (2).

$$f(C_{id}) = e^{-\beta C_{id}} \quad (2)$$

Faktor penyeimbang pada penelitian ini adalah batasan bangkitan dan tarikan, sehingga nilai A_i dan B_d adalah seperti pada persamaan (3) dan (4).

$$A_i = \frac{1}{\sum d(B_d \cdot D_d \cdot f_{id})} \quad (3)$$

$$B_d = \frac{1}{\sum_{d=1}^N (A_i \cdot O_i \cdot f_{id})} \quad (4)$$

Indikator Uji Statistik

Indikator uji statistik digunakan sebagai alat pembandingan kinerja setiap metode estimasi yang ditinjau dari hasil indikator statistik itu sendiri. Estimasi Matriks Asal Tujuan yang dihasilkan dari data lalu lintas dengan pendekatan model dan memperoleh arus lalu lintas yang harus sama dengan data arus lalu lintas hasil pengamatan di lapangan (Tamin (2008)). Penelitian ini menggunakan koefisien determinasi (R^2) sebagai indikator uji statistik. Nilai koefisien determinasi dihasilkan dari perhitungan (5) sebagai berikut:

$$R^2 = \frac{\sum (\hat{Y}_i - \underline{Y}_i)^2}{\sum (Y_i - \underline{Y}_i)^2} \quad (5)$$

Dimana:

- R^2 = Koefisien determinasi
- \hat{Y}_i = Nilai Y hasil pengamatan
- Y_i = Nilai Y hasil pemodelan
- \underline{Y}_i = Nilai Y hasil pemodelan rata-rata

Metode Kalibrasi Newton-Raphson

Metode Kalibrasi Newton-Raphson merupakan metode yang memiliki acuan pada pendekatan $f(\beta)$. Metode ini didefinisikan juga sebagai proses pengulangan yang dilakukan dengan melakukan kalibrasi terhadap nilai parameter β hingga dapat mencapai batas konvergensinya.

Estimasi MAT Perjalanan

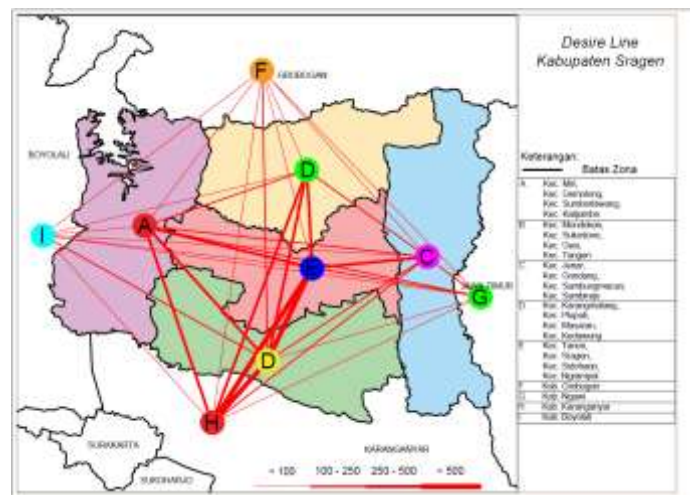
Tamin (2008) menjelaskan bahwa Model *Gravity* dengan batasan bangkitan dan tarikan pergerakan yang digunakan untuk pengestimasian Matriks Asal Tujuan perjalanan harus menghasilkan total pergerakan yang sama dengan estimasi dengan aplikasi EMME/3. Estimasi Asal Tujuan tahun 2022 memperoleh total pergerakan sebesar 9.892 smp/jam melalui Model *Gravity* dengan batasan bangkitan dan tarikan. Sebaran pergerakan Kabupaten Sragen yang direpresentasikan dengan Matriks Asal Tujuan dimana terdapat 27 zona dengan jumlah pergerakan seperti yang ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Matriks Asal Tujuan Kabupaten Sragen Tahun 2022 Hasil Model Gravity

i/j	701	702	703	...	727	ΣO_i
701	0	1	1	...	1	271
702	1	0	1	...	6	60
703	1	1	0	...	6	60
...
727	1	6	6	...	0	298
ΣD_d	201	62	62	...	225	9,892

Sumber: Hasil Penelitian MAT Tahun 2022

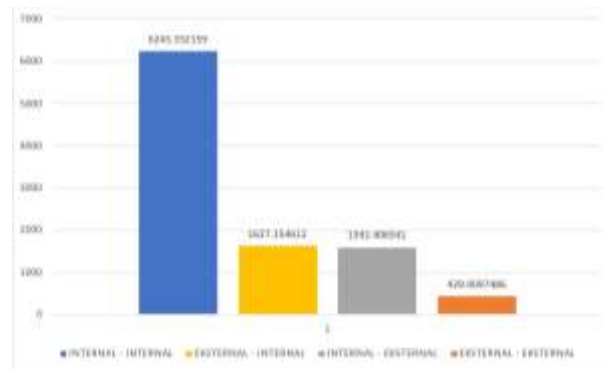
Selain dari tabel Matriks Asal Tujuan tahun 2022, besarnya pergerakan antar zona Kabupaten Sragen juga dapat dilihat dalam *desire line* (garis keinginan) yang ditampilkan pada Gambar 3. *Desire line* didapatkan dari agregasi zona yang berdekatan.



Gambar 3. *Desire Line* (Garis Keinginan) Kabupaten Sragen Tahun 2022

Pada Gambar 3, dijelaskan pergerakan internal dan eksternal diurai antar kecamatan dan dibagi menurut zona yang saling berdekatan, sehingga didapatkan 9 titik yang terdiri dari 5 titik internal dan 4 titik eksternal. Ketebalan garis pada *desire line* memiliki arti besarnya pergerakan. Semakin tebal garis pada *desire line* maka semakin besar pergerakan yang terjadi, begitu juga sebaliknya.

Untuk mempermudah pengamatan pada pola pergerakan Kabupaten Sragen yang ada pada *desire line*, ditampilkan Gambar 4 yang menggambarkan pergerakan pada setiap zona.



Gambar 4. Pola Pergerakan Kabupaten Sragen

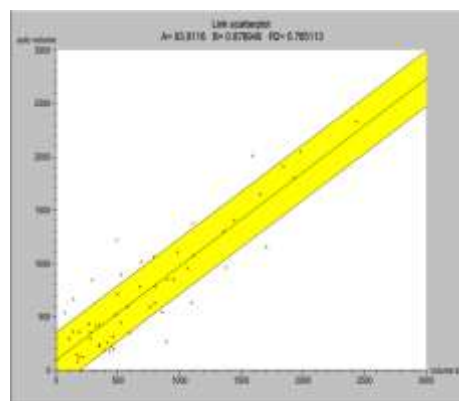
Gambar besaran pola pergerakan antar zona yang telah disajikan pada Gambar 4 dapat direpresentasikan sebagai berikut:

- a. Internal-internal : 63,11 %
- b. Eksternal-internal : 16,44 %
- c. Internal-eksternal : 16,10 %
- d. Eksternal-eksternal : 4,35 %

Berdasarkan pada persentase pola pergerakan antar zona yang telah dipaparkan, diketahui bahwa pergerakan terbesar ada pada pergerakan internal menuju internal dengan persentase sebesar 63,11 % dari pergerakan sebesar 6.243 smp/jam. Sedangkan pergerakan terkecil terjadi pada pergerakan eksternal menuju eksternal dengan persentase sebesar 4,38 % dari pergerakan sebesar 430 smp/jam.

Uji Validitas

Dalam uji validitas, nilai koefisien determinasi (R^2) yang diperoleh dari perbandingan antara arus lalu lintas hasil pengamatan dengan arus lalu lintas hasil pemodelan adalah sebesar 0,7851 dengan galat sebanyak 0,2149. Grafik uji validitas yang didapatkan dari aplikasi EMME/3 ditampilkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik Uji Validitas Arus Lalu Lintas

Grafik pada Gambar 4 menjelaskan tingkat validitas pemodelan pada penelitian ini termasuk dalam kategori tinggi. Hal ini dikarenakan oleh acuan rentang koefisien determinasi yang dijelaskan oleh Tamin (2008) yang menetapkan bahwa rentang 0,60 – 0,80 tergolong dalam kategori validitas tinggi.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian estimasi Matriks Asal Tujuan perjalanan dan pembebanannya terhadap jaringan jalan Kabupaten Sragen tahun 2022, dapat disimpulkan bahwa nilai parameter β yang diperoleh adalah 0,0800. Estimasi Matriks Asal Tujuan yang diperoleh melalui Model *Gravity* dari nilai parameter β yang telah dianalisis menggunakan metode Inferensi-Bayes dengan bantuan aplikasi EMME/3 menghasilkan total distribusi pergerakan sebesar 9.892 smp/jam. Nilai validitas yang dihitung dengan koefisien determinasi (R^2) didapatkan hasil nilai R^2 sebesar 0,7851 dan tergolong ke dalam tingkat validitas tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Aditama, K.N., Soedwihajono, dan Rufia, A.P., 2016, Pola Perjalanan Penduduk Pinggiran Menuju Kota Surakarta Ditinjau Dari Aspek Spasial dan Aspek Aspasial, *Jurnal Arsitektura*, hal. 14, Universitas Sebelas Maret.
- Direktorat Jenderal Bina Marga, 1997, Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) 1997, Departemen Pekerjaan Umum RI.
- INRO Consultant, Inc., 2007, EMME/3 Release Notes: Emme 3.0. Canada.
- Syafi'i, Rusydy I dan Handayani D., 2018a, "The influence of freight transportation on road network performance in Surakarta", *AIP Conference Proceedings*, Vol. 1997, No.1, AIP Publishing.
- Syafi'i., Santoso., B.M., dan Handayani, D., 2018b, "The Origin-Destination Matrix for Freight Transportation with Bayesian Inference Method", *AIP Conference Proceedings*, Vol. 1997, No.1, AIP Publishing.
- Tamin, O.Z., 2008, *Perencanaan, Pemodelan, dan Rekayasa Transportasi*, Bandung: ITB Press.
- Trisnawati N., Syafi'i, S. I., dan Handayani, D., 2018, "Forecasting of matriks asal tujuan of freight transportation of Surakarta with maximum likelihood method", *AIP Conference Proceedings*, Vol. 1997, No.1, AIP Publishing.