

ESTIMASI DISTRIBUSI PERGERAKAN DENGAN METODE KEMIRIPAN MAKSIMUM DAN FUNGSI HAMBATAN EKSPONENSIAL NEGATIF (STUDI KASUS KABUPATEN SRAGEN)

Iola Aulia Nur Matari
Jurusan Teknik Sipil
Universitas Sebelas Maret
Jl. Ir. Sutami No. 36A Surakarta
Telp. (0271) 647069
auliannurm@gmail.com

Syafi'i
Jurusan Teknik Sipil
Universitas Sebelas Maret
Jl. Ir. Sutami No. 36A Surakarta
Telp. (0271) 647069
syafii_hn@yahoo.com

Amirotul Musthofiah H. M.¹
Jurusan Teknik Sipil
Universitas Sebelas Maret
Jl. Ir. Sutami No. 36A Surakarta
Telp. (0271) 647069
amirotulmhm@staff.uns.ac.id

Abstract

The needs of large vehicle movements certainly require planning a transportation system that can prevent problems such as congestion. The steps that can be taken are to conduct a study of the generation and attraction as well as the movement distribution model in the form of an Origin Destination Matrix (O-D Matrix) which is analyzed by the Gravity Model of the generation-attraction limit and then processed by the EMME/3 program. This study was conducted in Sragen Regency which is divided into 27 zones. The loading of traffic flow results in the road network using the User Equilibrium method. Newton-Raphson calibration was carried out to obtain the value through the use of the Maximum Likelihood (ML) method and the Negative Exponential Resistance Function. This study aims to obtain the parameter, the distribution of traffic movement between zones, and calculate the accuracy of traffic flow using the coefficient of determination (R^2). The results of the study obtained a value of 0.079. The total estimated distribution of movement that occurs in Sragen Regency in 2022 is 9893 pcu/hour with the result of the validity test (R^2) from the comparison of observation and modeling values of 0.7805.

Keywords: EMME/3, O-D Matrix, Maximum Likelihood Method, Gravity Model.

Abstrak

Pemenuhan kebutuhan pergerakan kendaraan yang besar tentu memerlukan perencanaan sistem transportasi untuk mencegah permasalahan seperti kemacetan. Langkah yang dapat dilakukan dengan studi mengenai bangkitan dan tarikan serta model sebaran pergerakan dalam bentuk Matriks Asal Tujuan (MAT) yang dianalisis dengan Model *Gravity* batasan bangkitan-tarikan lalu diolah dengan program EMME/3. Studi ini dilaksanakan di Kabupaten Sragen yang dibagi menjadi 27 zona. Metode *User Equilibrium* digunakan untuk pembebanan hasil arus lalu lintas ke jaringan jalan. Kalibrasi Newton-Raphson dilakukan untuk memperoleh nilai β melalui penggunaan metode Penaksiran Kemiripan Maksimum (KM) dan Fungsi Hambatan Eksponensial Negatif. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan parameter β , besar distribusi pergerakan lalu lintas antar zona, serta menghitung tingkat akurasi arus lalu lintas menggunakan koefisien determinasi (R^2). Hasil penelitian diperoleh nilai β sebesar 0,079. Total estimasi distribusi pergerakan yang terjadi di Kabupaten Sragen tahun 2022 adalah 9893 smp/jam dengan hasil validitas (R^2) dari perbandingan nilai pengamatan dan pemodelan yaitu 0,7805.

Kata Kunci: EMME/3, Matriks Asal Tujuan, Metode Kemiripan Maksimum, Model *Gravity*.

¹ Corresponding Author : amirotulmhm@staff.uns.ac.id

PENDAHULUAN

Pentingnya informasi mengenai distribusi pergerakan di suatu wilayah sangat diperlukan para perencana transportasi agar dapat meramalkan maupun mengelola kebutuhan akan transportasi serta merancang solusi yang tepat agar dapat diterapkan dalam kurun waktu yang lama. Pemenuhan kebutuhan akan pergerakan tersebut, maka besar pergerakan perlu diketahui yang berbentuk Matriks Asal Tujuan (MAT). Salah satu prosedur yang diterapkan dalam pengestimasi MAT tersebut yakni Model *Gravity* dimana dalam penerapannya, sel baris dan kolom dijumlahkan sehingga diperoleh jumlah dari pergerakan yang terjadi di suatu zona. Total pergerakan tersebut kemudian dianalisis untuk menggambarkan pola pergerakan antar zona di masa depan. Informasi ini juga dapat digunakan oleh instansi terkait untuk dijadikan acuan dalam penentuan strategi yang sesuai dalam mengatur sistem pergerakan kendaraan di suatu wilayah sehingga dampak permasalahan dari adanya pergerakan dapat diminimalisir sejak awal (Trisnawati et al, 2018; Syafi'i et al, 2018).

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis nilai distribusi pergerakan arus lalu lintas antar zona di Kabupaten Sragen dikarenakan belum ada penelitian terdahulu yang membahas mengenai topik estimasi distribusi pergerakan di wilayah kajian tersebut. Riset ini dapat dijadikan pedoman dalam penentuan strategi paling sesuai dalam mencegah maupun mengatasi permasalahan transportasi yang berhubungan dengan pergerakan untuk memenuhi kebutuhan di Kabupaten Sragen.

Pemodelan Transportasi

Pemodelan transportasi merupakan proses yang menghasilkan arus lalu lintas pada tahun rencana dengan melakukan pembebanan data matriks asal tujuan (MAT) pada jaringan jalan di suatu wilayah kajian. Sehingga menghasilkan informasi mengenai distribusi pergerakan yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi, meramalkan, maupun mengelola kebutuhan akan transportasi serta merancang solusi yang tepat agar dapat diterapkan untuk jangka waktu yang lama.

Model Gravity

Pada bidang transportasi, model ini digunakan karena dapat mendeskripsikan pola pergerakan dengan menggunakan suatu parameter seperti populasi dan kondisi sosial-ekonomi. Model ini menggambarkan perilaku suatu pergerakan yang mengikuti pola sehingga mirip dengan interaksi gravitasi pada hukum gravitasi newton. Persamaan model *Gravity* secara umum dapat dijabarkan melalui Persamaan 1.

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

dimana:

- T_{id} = Jumlah pergerakan dari zona asal i ke zona tujuan d ,
- A_i = Faktor penyeimbang untuk setiap zona asal i ,
- B_d = Faktor penyeimbang untuk setiap zona tujuan d ,

- O_i = Total pergerakan dari zona asal i ,
 D_d = Total pergerakan dari zona tujuan d ,
 $f(C_{id})$ = Fungsi hambatan atau ukuran aksesibilitas antar zona asal dan tujuan.

Kalibrasi Newton-Raphson

Pendekatan fungsi β dijadikan dasar dalam kalibrasi Newton-Raphson yaitu dengan penggunaan metode eliminasi matriks Gauss-Jordan, dimana Persamaan 2 sebagai penentu memperoleh nilai h sedangkan Persamaan 3 digunakan untuk memperoleh parameter β . Tujuan dilakukan kalibrasi ini, untuk memperoleh parameter β yang merupakan fungsi hambatan eksponensial negatif sebagai ukuran kemudahan dan aksesibilitas antar zona.

$$h = -\frac{f}{\left(\frac{\partial f}{\partial \beta}\right)} \quad (2)$$

$$\beta_1 = \beta_0 + h \quad (3)$$

Metode Penaksiran Kemiripan Maksimum (KM)

Estimasi kemiripan maksimum adalah salah satu dari beberapa pendekatan alternatif yang telah dikembangkan oleh ahli statistik untuk memperkirakan parameter dalam mode matematis (Kleinbaum & Klein, 2010). Fungsi metode KM dalam penelitian ini untuk memperoleh parameter β dengan memaksimumkan kemiripan dari sekumpulan data yang diperoleh sehingga hasilnya semakin mendekati kondisi pengamatan di lapangan. Sistem persamaan simultan dengan parameter β yang tidak diketahui disajikan dalam Persamaan 4. Penyelesaian metode ini menggunakan teknik eliminasi matriks Gauss-Jordan dan kalibrasi Newton-Raphson.

$$\frac{\partial L}{\partial \beta} = f_{\beta} = \sum_{i=1}^N \sum_{d=1}^N \left[\left(\frac{T_{id}}{T_{id}} \right) \cdot \left(\frac{\partial T_{id}}{\partial \beta} \right) - \left(\frac{\partial T_{id}}{\partial \beta} \right) \right] = 0 \quad (4)$$

Indikator Uji Statistik (R²)

Signifikansi arus lalu lintas yang diperoleh dari analisis dapat ditentukan dengan menggunakan koefisien determinasi (R^2). Indikator ini dinyatakan dalam bentuk Persamaan 5.

$$R^2 = \frac{\Sigma(V_a - \bar{V}_a)^2}{\Sigma V_a^2 - \Sigma \bar{V}_a^2} \quad (5)$$

Rentang koefisien determinasi (R^2) disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Skala Indikator Uji Statistik (R^2)

Nilai R^2	Keterangan
0,80 – 1,00	Sangat tinggi
0,60 – 0,80	Tinggi
0,40 – 0,60	Cukup tinggi
0,20 – 0,40	Rendah
0,00 – 0,20	Sangat rendah (tidak valid)

EMME/3 (Equilibre Multimodal Multimodal Equilibrium)

Program EMME/3 digunakan dalam pembebanan arus lalu lintas dalam bentuk matriks ke jaringan jalan, dimana di awal sebelum pengoperasian perlu menyediakan basis data jaringan jalan sesuai dengan data hasil pengamatan di lapangan. Data tersebut meliputi data hasil perhitungan kecepatan saat arus bebas (V_0), waktu tempuh saat arus bebas (t_0), dan data kapasitas jalan yang dihitung menggunakan MKJI 1997.

METODE PENELITIAN

Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan di Kabupaten Sragen, Jawa Tengah dimana memiliki luas wilayah 941,55 km². Daerah ini terdiri atas 20 kecamatan, 12 kelurahan, dan 196 desa. Secara astronomis wilayah ini terletak pada garis lintang antara 7°15' - 7°30' LS serta 110°45' - 110°10' BT. Posisi Kabupaten Sragen secara geografis memiliki batas-batas wilayah dengan kabupaten lainnya, yaitu sisi Barat berbatasan dengan Kabupaten Boyolali, sisi Selatan berbatasan dengan Kabupaten Karanganyar, sisi Timur berbatasan dengan Kabupaten Ngawi, dan sisi Utara berbatasan dengan Kabupaten Grobogan.

Zona dapat diartikan sebagai suatu wilayah yang memiliki keseragaman atau merepresentasikan suatu sistem tata guna lahan suatu wilayah. Wilayah kajian pada penelitian ini dibagi dalam beberapa zona yang didasarkan pada batas-batas administrasi kecamatan, sehingga didapatkan 27 zona dengan 20 titik pada zona internal dan 7 titik pada zona eksternal. Titik survei pada penelitian ini berjumlah 29 titik dengan rincian 18 titik pada zona internal Kabupaten Sragen, 6 titik pada perbatasan Kabupaten Sragen dengan kabupaten-kabupaten di sekitarnya, dan 5 titik berlokasi di jalan tol yang melewati Kabupaten Sragen.

Pengambilan Data

Data dalam penelitian ini terdiri dari data primer dan data sekunder. Pengumpulan data primer dilakukan dengan survei *traffic count* di lapangan selama 2 jam (06.00-08.00 WIB) dengan interval waktu 15 menit sehingga diperoleh jam puncak di pagi hari pada pukul 06.45-07.45 WIB. Data primer juga diperoleh melalui data CCTV yang diperoleh dari instansi Dinas Perhubungan Kabupaten Sragen. Pengumpulan data sekunder diperoleh dari

beberapa instansi di Kabupaten Sragen berupa peta administrasi, peta jaringan jalan, data kependudukan, dan data geometrik jalan.

Pengolahan dan Penyajian Data

1. Satuan Mobil Penumpang (smp)

Berdasarkan pedoman pada MKJI, data arus lalu lintas dikonversi menjadi satuan mobil penumpang untuk selanjutnya dilakukan perhitungan untuk basis data masukan pada program EMME/3.

2. Kapasitas Jalan

Besarnya kapasitas suatu jalan dapat dihitung menggunakan Persamaan 6.

$$C = C_0 \times FC_w \times FC_{sp} \times FC_{sf} \times FC_{cs} \quad (6)$$

Keterangan:

C = Kapasitas (smp/jam),

C_0 = Kapasitas dasar untuk kondisi tertentu atau ideal (smp/jam),

FC_w = Faktor penyesuaian lebar jalur lalu lintas,

FC_{sp} = Faktor penyesuaian pemisah arah,

FC_{sf} = Faktor penyesuaian hambatan samping,

FC_{cs} = Faktor penyesuaian ukuran kota.

3. Kecepatan dan Waktu Tempuh pada Arus Bebas

Rumus dari kecepatan arus bebas dapat ditentukan dengan menggunakan Persamaan 7.

$$FV = (F_{vo} + FV_w) \times FFV_{sf} \times FFV_{cs} \quad (7)$$

keterangan :

FV = Kecepatan arus bebas kendaraan ringan sesungguhnya (km/jam),

F_{vo} = Kecepatan arus bebas kendaraan ringan (km/jam),

FV_w = Penyesuaian lebar jalur lalu lintas efektif (km/jam),

FFV_{sf} = Faktor penyesuaian kondisi hambatan samping,

FFV_{cs} = Faktor penyesuaian ukuran kota.

Sedangkan untuk menghitung kecepatan kendaraan pada arus lalu lintas mencapai kapasitas (V_c) ditentukan menggunakan Persamaan 8.

$$V_c = 0,5 \times FV \quad (8)$$

Perhitungan waktu tempuh pada saat kapasitas (t_c) dan waktu tempuh saat arus bebas (t_o) ditentukan menggunakan Persamaan 9 dan 10.

$$t_o = \frac{S}{FV} \times 3600 \quad (9)$$

$$t_c = \frac{S}{V_c} \times 3600 \quad (10)$$

4. Prior Matrix

Pada penelitian ini, peneliti mengasumsikan data *prior matrix* dengan mengisi angka satu pada tiap sel matriks dan angka nol untuk sel matriks dengan zona asal dan tujuan yang sama. Hal ini dikarenakan belum ada studi terdahulu yang membahas mengenai estimasi matriks asal tujuan di Kabupaten Sragen.

MAT Baru Tahun 2022 Hasil EMME/3

Matriks asal tujuan (MAT) baru tahun 2022 merupakan hasil estimasi berdasarkan data dari *prior matrix* yang dimasukkan ke dalam program EMME/3. Selanjutnya data matriks tersebut dikonversi ke dalam program Microsoft Excel untuk kemudian menganalisis pergerakan tiap zona.

Estimasi Matriks Biaya (C_{id}) Tahun 2022

Matriks C_{id} diperoleh menggunakan program EMME/3.

Kalibrasi Parameter β

Kalibrasi dianalisis dengan metode KM dan fungsi hambatan eksponensial negatif serta dalam prosesnya menggunakan bantuan program Microsoft Excel. Proses pada penelitian ini, menggunakan asumsi awal $\beta_0 = 0,08$ dikarenakan studi sebelumnya belum ada yang melakukan penelitian terkait topik tersebut. Selanjutnya setelah memasukkan matriks C_{id} dan T_{id} untuk dilakukan pengulangan sampai didapatkan nilai β dan h yang telah mencapai batas konvergensinya. Konvergensi dapat dilihat dari semakin kecilnya nilai h yang didapatkan. Ini juga menunjukkan ketelitian perhitungan yang telah dilakukan.

Estimasi MAT dengan Model Gravity

Nilai β yang didapatkan dari hasil kalibrasi parameter kemudian digunakan untuk menghitung estimasi MAT tahun 2022 dengan memasukkan parameter β ke dalam Persamaan 1.

Pembebanan MAT 2022 ke Jaringan Jalan

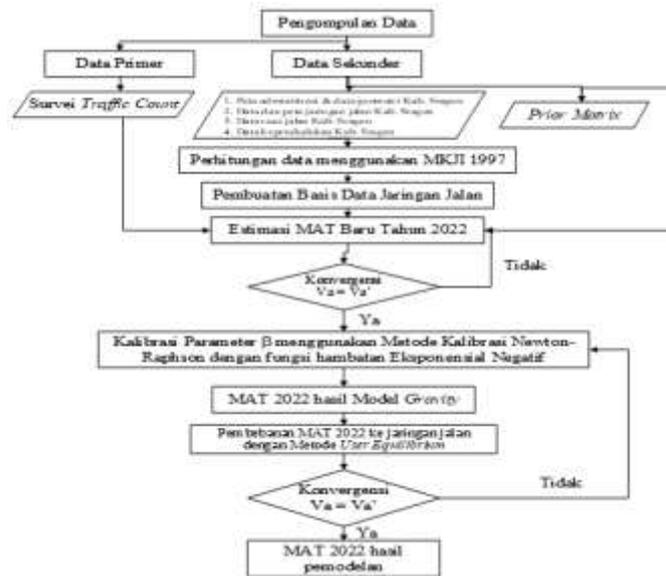
Setelah mendapatkan data pergerakan hasil model *Gravity*, kemudian hasil tersebut dibebankan kembali ke jaringan jalan menggunakan program EMME/3.

Uji Validitas (R²)

Nilai signifikansi diperoleh dari perangkat lunak EMME/3 dengan perhitungan regresi linier. Nilai R² menunjukkan signifikansi arus lalu lintas hasil pengamatan dan data arus hasil pemodelan.

Tahapan Penelitian

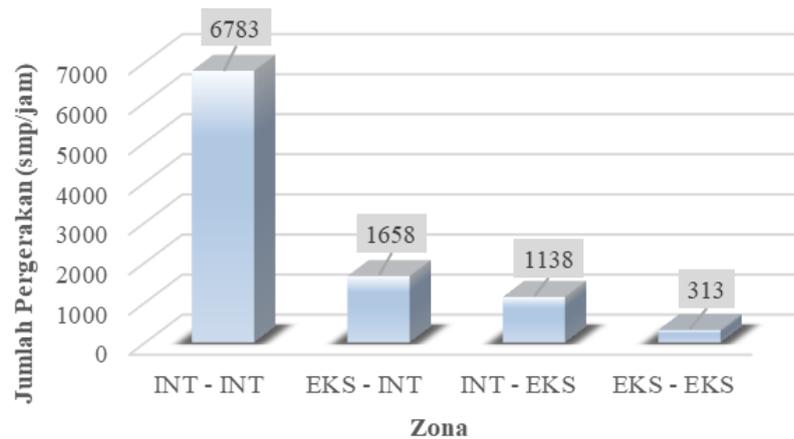
Untuk memperjelas alur pada penelitian ini, maka berikut *flowchart* yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. *Flowchart* Tahap Penelitian

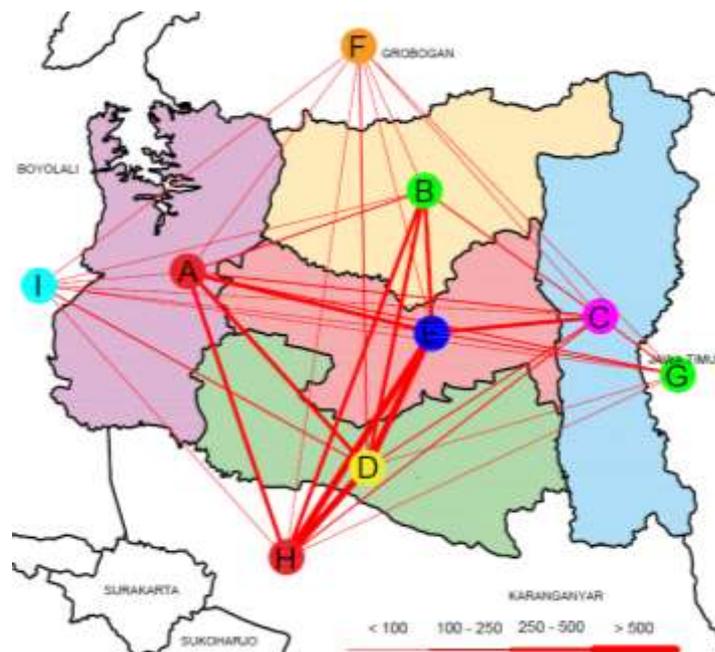
HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dianalisis dengan program Microsoft Excel menggunakan metode Kemiripan Maksimum sehingga diperoleh parameter β sebesar 0,079. Nilai ini dapat digunakan dalam menggambarkan biaya rerata perjalanan pada fungsi hambatan atau $f(C_{id})$. Kabupaten Sragen sebelumnya belum memiliki parameter β sehingga nilai yang didapatkan melalui penelitian ini dapat membantu dalam perencanaan transportasi maupun pengambil kebijakan untuk mengestimasi MAT di tahun berikutnya sehingga dapat diketahui ruas jalan mana saja yang memerlukan penanganan dalam hal perubahan aksesibilitas di Kabupaten Sragen. Selanjutnya dari hasil pengolahan data estimasi pergerakan berdasarkan data MAT tahun 2022, maka dapat diperoleh total pergerakan yang terjadi di Kabupaten Sragen sebesar 9.893 smp/jam. Pergerakan yang diperoleh merupakan pergerakan pada saat keadaan Pemberlakuan Pembatasan Kegiatan Masyarakat (PPKM) tingkat 2 di Kabupaten Sragen. Rincian pergerakan antar zona disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Total Pergerakan antar Zona

Hasil pergerakan kemudian disajikan dalam bentuk garis keinginan (*desire line*) yang ditunjukkan dalam Gambar 3.



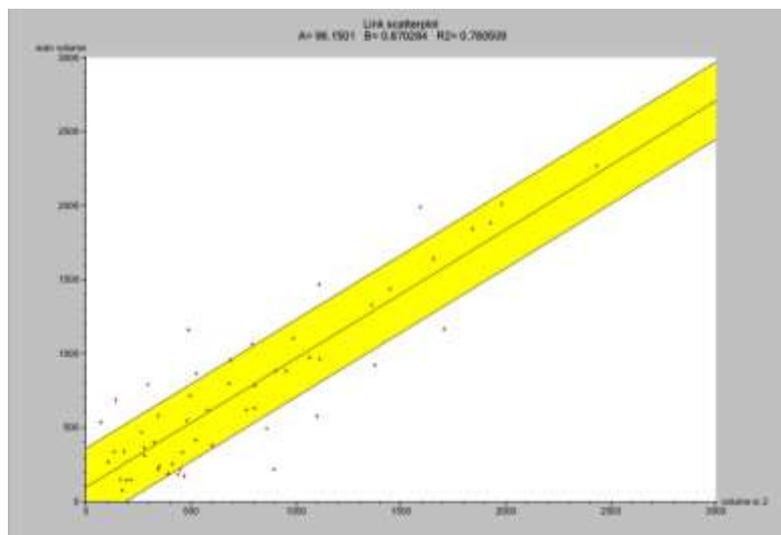
Gambar 3. *Desire Line* Hasil Estimasi Pergerakan Kabupaten Sragen Tahun 2022

Tebal-tipis garis pada gambar merepresentasikan jumlah pergerakan yang terjadi. Semakin tebal garis maka pergerakan yang terjadi semakin besar. Dari hasil analisis menunjukkan pergerakan zona internal-internal merupakan pergerakan terbesar di antara zona-zona lainnya yaitu sebesar 6.783 smp/jam. Hal ini dikarenakan pada zona internal terdapat kecamatan yang merupakan kawasan industri skala besar/ sedang yaitu Kecamatan Karangmalang, Kecamatan Plupuh, dan Kecamatan Masaran sehingga menyebabkan tarikan pergerakan yang besar. Hal ini diperkuat dengan penelitian Meike Kumaat (2013) di Kota Manado serta Muhammad Djaya Bakri dan Iif Ahmad (2020) di Kabupaten Tana

Tidung. Melalui kedua penelitian tersebut dapat diketahui bahwa suatu zona di wilayah studi yang merupakan kawasan industri dapat menghasilkan tarikan pergerakan yang besar.

Selain itu, kepadatan penduduk di Kecamatan Sragen yang mencapai 2.547 jiwa/km² dan laju pertumbuhan penduduk per tahun sebesar 0,16% mengakibatkan bangkitan yang besar yang terjadi di zona internal Kabupaten Sragen (Badan Pusat Statistik Kabupaten Sragen, 2021). Selanjutnya pergerakan antar zona eksternal-internal maupun internal-eksternal menunjukkan angka yang tidak signifikan diakibatkan oleh adanya kawasan industri skala besar maupun kecil yang tersebar di wilayah selatan dan utara Kabupaten Sragen sehingga banyak pekerja dari dalam maupun luar Kabupaten Sragen yang melakukan pergerakan menuju kawasan industri tersebut sehingga berdampak pada angka pergerakan yang tinggi walaupun tidak lebih besar dari pergerakan antar zona internal-internal.

Kemudian berdasarkan hasil analisis, pergerakan pada zona eksternal-eksternal menghasilkan nilai terkecil. Khususnya di Kabupaten Grobogan yang menghasilkan bangkitan pergerakan sebesar 165 smp/jam dan Kecamatan Jenawi di Kabupaten Karanganyar menghasilkan tarikan pergerakan sebesar 75 smp/jam. Hal ini diakibatkan kurangnya masyarakat yang melakukan pergerakan pada saat survei dilakukan yaitu pada jam 06.45-07.45 WIB. Setelah mendapatkan data MAT hasil pemodelan, selanjutnya dilakukan uji validitas untuk mengetahui perbedaan data hasil pengamatan dan hasil pemodelan. Diperoleh nilai R² sebesar 0,7805 dengan galat yang terjadi sebesar 21,95%. Nilai galat yang terjadi dapat disebabkan oleh galat dalam pengumpulan data seperti galat mengidentifikasi kendaraan, menghitung arus dan kurangnya kontrol kualitas pada saat survei lapangan. Nilai R² yang diperoleh dari program EMME/3 disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. *Scatter Plot* Uji Validitas Arus Hasil Survei dan Hasil Pemodelan

KESIMPULAN

Setelah mengolah data dan menganalisis hasil estimasi pergerakan di Kabupaten Sragen, maka diperoleh parameter β yang merupakan fungsi hambatan eksponensial negatif dan dikalibrasi dengan Newton-Raphson sebesar 0,079. Berdasarkan hasil estimasi distribusi pergerakan Kabupaten Sragen pada tahun 2022 dengan model *Gravity* batasan bangkitan-tarikan diperoleh total pergerakan sebesar 9.893 smp/jam dimana pergerakan terbesar berada pada zona internal-internal (68,57%). Nilai tersebut disebabkan adanya kawasan industri serta kepadatan penduduk yang mencapai 2.547 jiwa/km² sehingga menghasilkan bangkitan-tarikan yang cukup besar. Tingkat validitas diperoleh hasil yang tinggi, yang ditunjukkan dengan besarnya koefisien determinasi (R^2) yaitu 0,7805.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pusat Statistik Kabupaten Sragen. 2021. Kabupaten Sragen Dalam Angka 2021. Retrieved Juni 10, 2022, from <https://sragenkab.bps.go.id/>.
- Bakri, M. D. dan Syarif, I. A. 2020. Analisis Pola Perjalanan Masyarakat Kabupaten Tana Tidung Provinsi Kalimantan Utara. *A Scientific Journal of Civil Engineering*, 24(2), 119-126.
- Departemen Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. 1997. Highway Capacity Manual Project (HCM). Retrieved 2022, from <https://pu.go.id>.
- Kleinbaum, D. G. dan Klein, M. 2010. Maximum Likelihood Techniques: An Overview. In Kleinbaum, D. G. & Klein, M., *Logistic Regression* (pp. 103-120). Springer Science Business Media.
- Kumaat, M. 2013. Analisis Bangkitan dan Tarikan Pergerakan Penduduk Berdasarkan Data Matriks Asal Tujuan Kota Manado. *Tekno Sipil*, 11, 58.
- Syafi'i, Rusydy, I. dan Handayani, D. 2018. The influence of freight transportation on road network performance in Surakarta. *AIP Conference Proceedings* 1977. AIP Publishing.
- Trisnawati, N., Syafi'I dan Handayani, D. 2018. Forecasting of origin-destination matrix of freight transportation of Surakarta with maximum likelihood method. *AIP Conference Proceedings*.