

ESTIMASI PARAMETER PADA MODEL *GRAVITY* DENGAN METODE ENTROPI-MAKSIMUM DAN FUNGSI HAMBATAN EKSPONENSIAL NEGATIF KABUPATEN SRAGEN

Al Hafiiz Abdika Muhammad

Jurusan Teknik Sipil
Universitas Sebelas Maret
Jl. Ir. Sutami No. 36 A Surakarta
Telp. (0271) 647069
abdikaalhafiiz@student.uns.ac.id

Syafii

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

Amirotul Musthofiah H.M.

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

Abstract

The increase in economy and population has resulted in an increase in the volume of traffic flow, Sragen Regency is directly adjacent to East Java Province and is crossed by the Solo-Ngawi National Road and the Solo-Kertosono Toll Road. The purpose of this research is to get the movement pattern of Sragen Regency in 2022 and the effect of land use on traffic volume, the traffic volume is processed using the 1997 MKJI and the MAT estimation is carried out using the Gravity model using the EMME/3 program. The method used to obtain the value of the parameter using the Newton-Raphson calibration method with the Maximum Entropy estimation method. The result of the movement pattern is that the internal-internal movement is 5,784 pcu/hour, internal-external 1,138 pcu/hour, external-external 1,658 pcu/hour, and external-external 313 pcu/hour.

Keywords: O-D Matrix, EMME/3, Gravity Model, Maximum Entropy, Land Use

Abstrak

Peningkatan ekonomi dan jumlah penduduk mengakibatkan peningkatan volume arus lalu lintas, Kabupaten Sragen berbatasan langsung dengan Provinsi Jawa Timur serta dilewati oleh Jalan Nasional Solo-Ngawi dan Jalan Tol Solo-Kertosono. Tujuan penelitian ini untuk mendapatkan pola pergerakan Kabupaten Sragen tahun 2022 dan pengaruh penggunaan tata guna lahan terhadap volume lalu lintas, volume lalu lintas diolah menggunakan MKJI 1997 serta estimasi MAT dilakukan dengan model *Gravity* menggunakan program EMME/3. Metode yang digunakan untuk memperoleh nilai parameter β menggunakan metode kalibrasi *Newton-Raphson* dengan metode penaksiran Entropi Maksimum. Hasil pola pergerakan didapatkan pergerakan internal-internal 5.784 smp/jam, internal-eksternal 1.138 smp/jam, eksternal-eksternal 1.658 smp/jam, dan eksternal-eksternal 313 smp/jam.

Kata Kunci: MAT, EMME/3, Model *Gravity*, Entropi Maksimum, Penggunaan Lahan

PENDAHULUAN

Kabupaten Sragen merupakan kabupaten yang berbatasan langsung dengan Provinsi Jawa Timur serta kabupaten yang dilintasi oleh Jalan Nasional Solo-Ngawi dan Jalan Tol Solo Kertosono, kabupaten ini juga dekat dengan Kota Surakarta yang menjadi pusat perekonomian kota-kota di sekitarnya. Peningkatan ekonomi dan jumlah penduduk menyebabkan meningkatnya volume arus lalu lintas, hal tersebut menjadi penyebab utama terjadinya kemacetan dikarenakan infrastruktur yang tersedia tidak dapat memenuhi

¹ Corresponding author: Syafii_hn@yahoo.com

permintaan volume lalu lintas yang terjadi. Jenis penggunaan lahan turut serta dalam mempengaruhi *trip attraction* yang tentunya akan mempengaruhi pola arus lalu lintas.

Kabupaten Sragen memiliki jumlah penduduk sebanyak 1.005.556 jiwa pada tahun 2021 semester 1 dengan luas wilayah 941,6 km² memiliki destinasi unggulan situs purbakala Sangiran dan terdapat beberapa pusat industri. Selain Jalan Nasional Solo-Ngawi yang menjadi jalan utama untuk menuju ke Kota Surakarta ataupun Provinsi Jawa Timur pada penelitian ini Kabupaten Sragen telah terdapat infrastruktur jalan tol yang menghubungkan Provinsi Jawa Tengah dengan Provinsi Jawa Timur yang tentunya akan mempengaruhi pola pergerakan dalam Kabupaten Sragen.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pola pergerakan yang terdapat di Kabupaten Sragen pada tahun 2022. Nilai parameter β didapatkan dengan Model *Gravity* menggunakan metode Entropi Maksimum dan fungsi hambatan eksponensial negatif serta mengetahui pengaruh penggunaan tata guna lahan terhadap volume lalu lintas, Nilai arus lalu lintas yang dihasilkan akan dibebankan pada pembebanan *User Equilibrium* yang menghasilkan volume lalu lintas pada setiap ruas jalan, selanjutnya menghitung tingkat validitas menggunakan koefisien determinasi (R^2). Estimasi MAT menggunakan program EMME/3 (*Equilibre Multimoda, Multimodal Equilibrium*).

KAJIAN PUSTAKA

Pola pergerakan dalam sistem transportasi dijelaskan dalam bentuk arus pergerakan (kendaraan, penumpang, dan barang) yang bergerak dari zona asal menuju zona tujuan di dalam daerah tertentu dan selama periode waktu tertentu (Tamin, 2000). Pemodelan transportasi merupakan suatu proses penyebaran matriks asal tujuan pada suatu jaringan jalan sehingga menghasilkan arus lalu lintas pada waktu rencana untuk menghasilkan kinerja jaringan jalan (Aprilliansyah & Herman, 2015). Ofyar Z. Tamin (2000) juga menjelaskan Matriks Asal Tujuan (MAT) adalah matriks berdimensi dua yang berisi informasi mengenai besarnya pergerakan antar lokasi (zona) di daerah tertentu. MAT menyatakan besarnya arus dari zona asal ke zona tujuan dengan notasi T_{id} menyatakan besarnya arus pergerakan (kendaraan, penumpang, dan atau barang) bergerak dari zona i (asal) menuju zona j (tujuan) dalam rentang waktu tertentu.

Pada tahun 2018 Mohamad Budi Santoso melakukan penelitian mengenai estimasi MAT data arus lalu lintas di Kota Surakarta menggunakan metode kalibrasi *Newton-Raphson* dengan pendekatan *Inferensi-Bayes* (IB) yang dalam proses pembebanannya dibantu dengan *software* EMME/3. Penelitian ini menggunakan data *prior matrix* dan hasil *traffic count* yang kemudian diproses menggunakan metode kalibrasi *Newton-Raphson* dengan pendekatan *Inferensi-Bayes* (IB). Hasil dari penelitian ini mendapatkan nilai parameter β sebesar 0,0807 dengan tingkat validitas koefisien determinasi (R^2) menunjukkan nilai 0,81. Berbeda dengan Mohamad Budi Santoso, Elza Mutiara Putri (2021) melakukan penelitian kinerja jaringan jalan di Kota Sukoharjo menggunakan model *Gravity* dengan metode Entropi Maksimum dan fungsi hambatan eksponensial negatif dibantu dengan *software* EMME/3 untuk proses pembebanannya, nilai parameter β yang didapatkan menggunakan proses kalibrasi *Newton-Raphson* dan *User Equilibrium* sebesar 0,08 dengan tingkat

validitas koefisien determinasi (R^2) menunjukkan nilai sebesar 0,8083. Zhang *et al.* (2017) dalam jurnalnya yang berjudul *Impact Analysis of Land Use on Traffic Congestion Using Real-Time Traffic and Point of Interest* ditemukan bahwa jenis pemanfaatan lahan seperti untuk ibadah, sekolah, pusat perekonomian, dan pemerintahan mempengaruhi tarikan dan rasio arus lalu lintas. Yang menunjukkan bahwa fungsi penggunaan lahan mempengaruhi *Trip Attraction* arus lalu lintas dari kota tersebut.

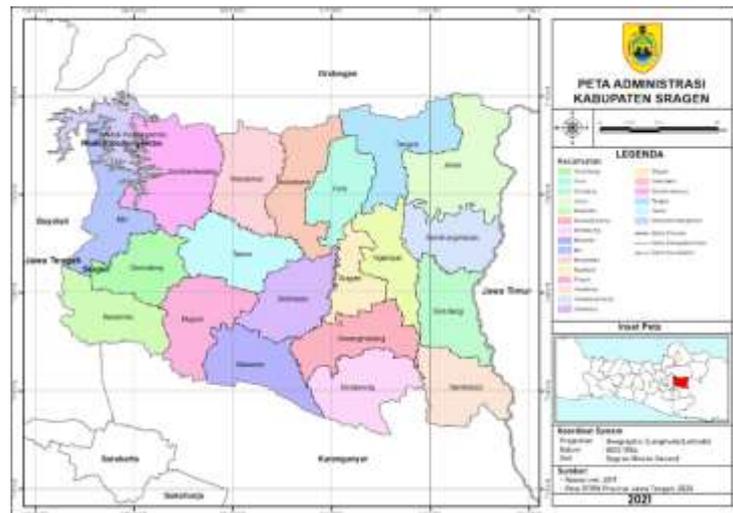
Perbedaan penelitian ini dengan penelitian sebelumnya adalah penelitian ini melakukan estimasi matriks asal tujuan (MAT) dengan Model *Gravity* di Kabupaten Sragen yang telah memiliki infrastruktur jalan tol. Persamaan yang ada yaitu penelitian ini dilakukan dengan cara mengestimasi distribusi pergerakan dengan program EMME/3 menggunakan model *Gravity* dan metode Kalibrasi *Newton-Raphson*.

METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Kabupaten Sragen yang termasuk dalam Provinsi Jawa Tengah. Kabupaten Sragen letaknya di sebelah utara kota solo, secara letak geografis Kabupaten Sragen terletak pada posisi $7^{\circ}15' - 7^{\circ}30'$ Lintang Selatan dan $110^{\circ}45' - 111^{\circ}10'$ Bujur Timur. Kabupaten Sragen memiliki luas wilayah $\pm 941,55 \text{ km}^2$. Sebagian besar penggunaan lahan ini adalah lahan pertanian. Batas wilayah Kabupaten Sragen di sebelah utara yaitu Kabupaten Grobogan dan Kabupaten Boyolali, sebelah timur terdapat Kabupaten Ngawi Jawa Timur, sebelah selatan terdapat Kabupaten Karanganyar dan Kabupaten Boyolali, sebelah barat terdapat Kabupaten Boyolali.

Penelitian ini dibagi menurut zona kecamatan yang terdapat di Kabupaten Sragen, zona dalam penelitian ini dibagi menjadi zona internal sesuai dengan jumlah kecamatan yang sebanyak 20 kecamatan dan zona eksternal yang berasal dari Kabupaten Grobogan, Kabupaten Boyolali, Kabupaten Ngawi dan Kabupaten Karanganyar yang memiliki total 7 zona eksternal.



Sumber: Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang Kabupaten Sragen, 2021

Gambar 1. Peta Administrasi Kabupaten Sragen

Pengumpulan Data

Pengumpulan data primer dilakukan dengan memperoleh data arus lalu lintas tahun 2022 (*traffic count*) di lokasi penelitian. Pelaksanaan survei dilaksanakan pada hari kerja selama 2 jam pada jam puncak pagi hari pukul 06.00-08.00 dengan interval waktu 15 menit. Setelah pengumpulan data primer selesai kemudian data tersebut diolah menggunakan pedoman MKJI (Departemen Pekerjaan Umum, 1997). Data selanjutnya adalah data sekunder yang diperoleh melalui instansi terkait di wilayah Kabupaten Sragen, dalam hal ini adalah Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang Kabupaten Sragen (DPUPR), Dinas Kependudukan dan Pencatatan Sipil Kabupaten Sragen, dan Dinas Pertanahan dan Penataan Tata Ruang Kabupaten Sragen.

Sebaran Pergerakan (Trip Distribution)

Sebaran pergerakan atau *Trip Distribution* adalah salah satu dari empat tahapan model perencanaan transportasi yang merupakan suatu tahapan pemodelan yang memperkirakan jumlah distribusi pergerakan yang berasal dari suatu zona asal (i) menuju ke zona tujuan (j), (Tamin, 1997). Menurut Tamin, (2008) Model *gravity* adalah model yang sering digunakan karena sangat sederhana dan mudah dimengerti, model ini menggunakan kata *gravity* yang diperkenalkan oleh Newton pada tahun 1686 yang dikembangkan dari analogi hukum gravitasi. Newton menyatakan bahwa (F_{id}) gaya Tarik atau tolak antara dua kutub massa berbanding lurus dengan massanya, m_i dan m_j dan berbanding terbalik kuadratis dengan jarak antara kedua massa tersebut, d_{id}^2 .

Hal terpenting untuk diketahui adalah f_{id} harus dianggap sebagai ukuran aksesibilitas (kemudahan) antara zona i dengan zona j . Tiga jenis fungsi hambatan yang dapat digunakan dalam model *gravity* ini:

$$1. f(C_{id}) = C_{id}^{-\beta} \quad (\text{fungsi pangkat}) \quad (1)$$

$$2. f(C_{id}) = e^{-\beta C_{id}} \quad (\text{fungsi eksponensial negatif}) \quad (2)$$

$$3. f(C_{id}) = C_{id}^{-\beta} \cdot e^{-\beta C_{id}} \quad (\text{fungsi tanner}) \quad (3)$$

Entropi Maksimum

Secara matematis, fungsi tujuan metode penaksiran Entropi Maksimum (EM) dapat dituliskan pada persamaan sebagai berikut:

$$\text{Memaksimumkan } E_1 = \log_e W^H = - \sum_i \sum_d (T_{id} \log_e \left(\frac{T_{id}}{\hat{T}_{id}} \right) - T_{id}) + \hat{T}_{id} \quad (4)$$

Untuk memaksimumkan persamaan (4), ada syarat parameternya harus sama dengan nol, dengan persamaan berikut:

$$\frac{\partial E_1}{\partial \alpha} = f_\alpha = - \sum_i \sum_d d \left[\left(\frac{\partial T_{id}}{\partial \alpha} \right) \cdot \left(\log_e \frac{T_{id}}{\hat{T}_{id}} \right) \right] = 0 \quad (5)$$

$$\frac{\partial E_1}{\partial \beta} = f_\beta = - \sum_i \sum_d d \left[\left(\frac{\partial T_{id}}{\partial \beta} \right) \cdot \left(\log_e \frac{T_{id}}{\hat{T}_{id}} \right) \right] = 0 \quad (6)$$

Persamaan (5 dan 6) adalah sistem persamaan simultan dengan dua parameter α dan β yang tidak diketahui. Metode Newton-Raphsom yang dikombinasikan dengan Teknik eliminasi matrik sederhana bisa digunakan untuk menyelesaikan persamaan tersebut.

Indikator Uji Statistik

Tamin (2008) menyebutkan penaksiran MAT dari data lalu lintas yang dihasilkan dengan menggunakan penaksiran model kebutuhan akan transportasi akan menghasilkan arus lalu lintas yang semirip mungkin dengan data arus lalu lintas hasil pengamatan. Hal terpenting yang harus diperhatikan yaitu tingkat kemiripan dari arus hasil pemodelan dengan arus hasil observasi. Tingkat akurasi MAT yang dihasilkan dari data arus lalu lintas dapat ditentukan dengan beberapa indikator uji statistik. Indikator uji statistik ini yang digunakan adalah koefisien determinasi (R^2), yang merupakan besaran non negatif dan besarnya koefisien determinasi adalah antara $0 \leq R^2 \leq 1$ Pembagian tingkat validitas berdasarkan nilai R^2 adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Klasifikasi Tingkat Validitas

No.	Nilai	Klasifikasi
1.	0,80 - 1,00	Sangat Tinggi
2.	0,60 - 0,80	Tinggi
3.	0,40 - 0,60	Cukup Tinggi
4.	0,20 - 0,40	Rendah
5.	0,00 - 0,20	Sangat Rendah/Tidak Valid

Indikator statistic R^2 dapat dilihat dari persamaan (7):

$$R^2 = \frac{\sum(\hat{y} - \bar{y})^2}{\sum(y_i - \bar{y})^2} \quad (7)$$

dimana,

- R^2 = koefisien determinasi,
 \hat{Y} = nilai y hasil pemodelan,
 Y_i = nilai y hasil obseravsi,
 \bar{Y} = rata-rata nilai y hasil observasi.

Pada indikator uji statistic nilai R^2 dapat menjadi nilai negatif jika terdapat simpangan besar antar arus lalu lintas hasil pemodelan dan arus lalu lintas hasil observasi. Nilai $R^2 = 1$ merupakan nilai tertinggi yang dapat dihasilkan jika dilakukan perbandingan. Maka, nilai R^2 mendekati 1 (satu) dinyatakan tingkat kemiripan yang tinggi antar arus yang dibandingkan (Tamin, 2008).

EMME/3 (Equilibre Multimodal, Multimodal Equilibrium)

EMME (*Equilibre Multimodal, Multimodal Equilibrium*) merupakan *software* yang profesional dalam meramalkan sebuah arus perjalanan. EMME menawarkan perangkat alat perencanaan yang komplit dan komprehensif untuk kebutuhan suatu pemodelan. Selain itu, EMME khususnya di EMME/3 ini merupakan pengembangan dari EMME/2 yang dibuat dan dikembangkan di INRO *Consultant University de Montreal*, Kanada dengan kemampuan yang sangat tinggi dengan jumlah *node* dan *link* yang dikatakan tidak terbatas atau mampu mencapai hampir 1 juta *node*.

EMME juga digunakan untuk mengevaluasi kebijakan transportasi yang mempunyai efek kesemua sistem transportasi yang ada. EMME memberikan kemudahan dan kebebasan secara khusus bagi pengguna dalam melakukan pendekatan model untuk menggunakan metode yang telah ditetapkan atau membuat metode baru untuk kebutuhan setempat. EMME dikembangkan untuk memodelkan sistem transportasi yang kompleks, dan melaporkan kepada perencana berbagai macam tantangan yang harus dihadapi terkait teknologi, sosial, dan ekonomi. EMME/3 menyediakan pendekatan fleksibel, terbuka ke modeling yang memberi pengguna kebebasan dalam menentukan teknik atau membuat metode sendiri sesuai kebutuhan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Fungsi Hambatan

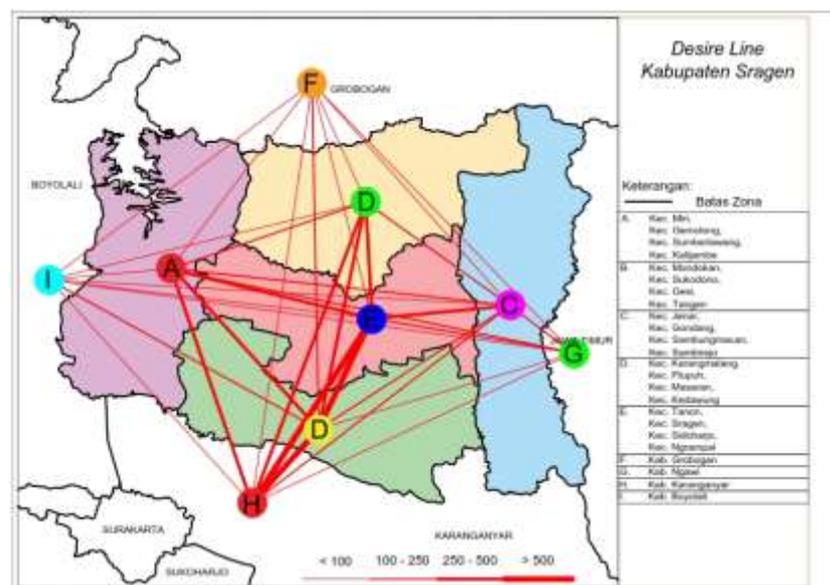
Proses kalibrasi *Newton-Raphson* sudah dilakukan menghasilkan nilai parameter β sebesar 0,073 yang dihitung menggunakan metode Entropi Maksimum dan fungsi hambatan Eksponensial Negatif.

Uji Validitas

Setelah mendapatkan Matriks Asal Tujuan (MAT) Kabupaten Sragen tahun 2022 dilakukan uji validitas dari perbandingan arus *traffic count* dan arus pemodelan dihasilkan validitas tinggi, ditunjukkan dengan nilai R^2 sebesar 0,7619, yang mengakibatkan galat terjadi sebesar 23,81%. Nilai galat ini disebabkan karena data yang di dapatkan tidak mencukupi.

Estimasi Distribusi Perjalanan

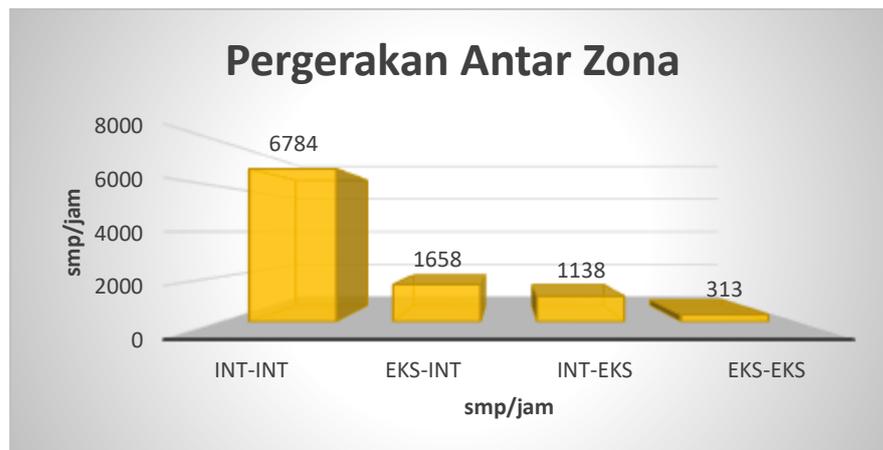
Hasil analisis yang dilakukan Kabupaten Sragen didapat total pergerakan sebesar 9.893 smp/jam. Hasil ini dituangkan ke dalam bentuk garis keinginan (*desire line*) yang dapat di lihat pada Gambar 2. Gambar ini menunjukkan total pergerakan eksternal dan internal, dimana ada 4 titik zona eksternal dan 5 titik zona internal.



Sumber: Hasil Analisis Perhitungan

Gambar 2. *Desire Line* Kabupaten Sragen

Detail dari *desire line* dapat dilihat dari grafik pergerakan antar zona yang ditunjukkan pada Gambar 3.



Sumber: Hasil Analisis Perhitungan

Gambar 3. Grafik Pergerakan Antar Zona

Pada gambar diatas, urutan pergerakan antar zona yang terbesar ke terkecil dengan nilai persentase disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Pola Pergerakan Kabupaten Sragen Tahun 2022

No.	Pola Pergerakan	Nilai (smp/jam)
1.	Internal - Internal	6.784 smp/jam (68,57%)
2.	Internal - Eksternal	1.138 smp/jam (11,50%)
3.	Eksternal - Internal	1.658 smp/jam (16,76%)
4.	Eksternal - Eksternal	313 smp/jam (3,17%)

Pergerakan internal - internal merupakan pergerakan paling tinggi dibandingkan dengan pergerakan lainnya, setelah melakukan perhitungan ditemukan tarikan pergerakan paling tinggi menuju Kecamatan Karangmalang sebesar 1.176 smp/jam (17,33%) Hal ini selaras dengan data RTRW Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang bahwa Kecamatan Karangmalang dan Kecamatan Sragen masuk kedalam Kawasan Strategis Kabupaten (KSK) pertumbuhan ekonomi sehingga terdapat pusat pemerintahan, pusat kesehatan, pusat pendidikan, dan pusat kegiatan ekonomi. Zhang *et al.* (2017) dalam jurnalnya yang berjudul *Impact Analysis of Land Use on Traffic Congestion Using Real-Time Traffic and Point of Interest* menyatakan bahwa jenis pemanfaatan lahan seperti untuk ibadah, sekolah, pusat perekonomian, dan pemerintahan mempengaruhi tarikan dan rasio arus lalu lintas. Sasidhar *et al.* (2016) dalam jurnalnya yang berjudul *Trip Attraction Rates of Commercial Land Use: A Case Study* menyatakan bahwa area pusat perekonomian menjadikategori perjalanan utama dari *Trip Attraction* untuk kegiatan perkantoran, perbelanjaan, dan pendidikan.

Urutan kedua yaitu pergerakan eksternal - internal, pada pergerakan ini dimungkinkan pergerakan dari luar masuk ke Kabupaten Sragen untuk berwisata, bekerja, atau berbelanja. Hal ini disebutkan pada penelitian (Agustiningrum, 2019) bahwa Kabupaten Sragen merupakan Daerah Tujuan Wisata (DTW) Kabupaten di Jawa Tengah dengan daya Tarik wisata budaya maupun alam, yaitu Situs Purbakala Sangiran. Menurut laporan UNESCO "Sangiran diakui oleh para ilmuwan untuk menjadi salah satu situs yang paling penting di dunia untuk mempelajari fosil manusia". Selain itu terdapat sentra industri batik yang terletak pada Kecamatan Masaran menjadi daya tarik untuk mengunjungi Kabupaten Sragen.

Urutan ketiga dan terakhir yaitu pergerakan dari zona internal - eksternal dan eksternal - eksternal, merujuk pada penelitian Zusanti (2015) bahwa Kota Surakarta merupakan daerah tarikan pergerakan yang disebabkan oleh kemajuan sektor ekonomi, budaya dan pariwisata serta pendidikan. Terlihat dalam Gambar 2 bahwa *desire line* tertinggi berada di zona H dan E menandakan bangkitan dan tarikan untuk para penglaju yang memiliki pekerjaan dan pendidikan di Kota Surakarta. Pergerakan eksternal - eksternal atau pergerakan yang hanya melintasi Kabupaten Sragen. Adanya Jalan Solo - Purwodadi, Jalan Raya Ngawi - Solo, dan Jalan Tol Solo - Ngawi menjadi rute utama untuk melintas di Kabupaten Sragen.

KESIMPULAN

Nilai parameter β merupakan fungsi hambatan eksponensial negatif didapat dari perhitungan Kalibrasi *Newton-Raphson* dengan bantuan program *Microsoft Excel* sebesar 0,079. Hasil perhitungan uji validitas menggunakan koefisien determinasi (R^2) untuk perbandingan arus lalu lintas hasil *traffic count* dengan hasil permodelan didapat hasil sebesar 0,7619. Nilai R^2 ini termasuk pada kategori validitas sangat tinggi. Nilai estimasi distribusi pergerakan Kabupaten Sragen dengan model *gravity* batasan bangkitan-tarikan menghasilkan total pergerakan pada tahun 2022 sebesar 9.893 smp/jam.

Total pergerakan antar zona diatas menunjukkan persentase tertinggi pada zona internal - internal, ditemukan tarikan pergerakan paling tinggi menuju Kecamatan Karangmalang sebesar 1.176 smp/jam (17,33%) yang berlokasi di pusat Kota Sragen. Berdasarkan data RTRW Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang bahwa Kecamatan Karangmalang dan Kecamatan Sragen masuk kedalam Kawasan Strategis Kabupaten (KSK) pertumbuhan ekonomi sehingga terdapat pusat pemerintahan, pusat kesehatan, pusat pendidikan, dan pusat kegiatan ekonomi.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustiningrum, T. E. 2019. *Peningkatan Sektor Pariwisata Kabupaten Sragen melalui Pengembangan Booklet Pariwisata Berbahasa Perancis*. Sragen: Abdimas.
- Apriliansyah, T. dan Herman. 2015. Perkiraan Distribusi Pergerakan Penumpang di Provinsi Jawa Barat berdasarkan Asal Tujuan Transportasi Nasional. *Jurnal Online Institut Teknologi Nasional*, Vol.1 No.1 (29-40).
- Departemen Pekerjaan Umum. 1997. *Highway Capacity Manual Project (HCM)*. Jakarta: Direktorat Jenderal Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum RI.
- Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang Kabupaten Sragen. (2021). *Peta Administrasi Kabupaten Sragen*. Sragen.
- Putri, E. M. 2021. Estimasi Parameter pada Model Gravity dengan Metode Entropi Maksimum dan Fungsi Hambatan Eksponensial Negatif (Studi Kasus Kabupaten Sukoharjo). Universitas Sebelas Maret, Teknik Sipil.
- Santoso, M. B., Syafi'i dan Handayani, D. 2018. The Origin-Destination Matrix for Freight Transportation with Bayesian Inference Method. *AIP Conference Proceedings*.

- Sisdhar, Vineeth dan Subbarao. 2016. Trip Attraction Rates of Commercial Land Use: A Case Study. *Indian Jurnal of Science and Technology*.
- Tamin, O. Z. 1997. *Perencanaan dan Pemodelan Transportasi*. Bandung: ITB.
- Tamin, O. Z. 2000. *Perencanaan dan Pemodelan Transportasi*. Bandung: ITB.
- Tamin, O. Z. 2008. *Perencanaan, Pemodelan, & Rekayasa Transportasi: Teori, Contoh Soal, dan Aplikasi*. Bandung: ITB.
- Zhang, T., Sun, L., Yao, L. dan Rong, J. 2017. Impact Analysis of Land Use on Traffic Congestion Using Real-Time Traffic and POI. *Hindawi*, 1-8.
- Zusanti, F. 2016. Estimasi Distribusi Perjalanan Kota Surakarta Tahun 2025 menggunakan Model Gravity. Universitas Sebelas Maret, Teknik Sipil. Surakarta.