

ESTIMASI DISTRIBUSI PERGERAKAN KABUPATEN SRAGEN DENGAN METODE PENAKSIRAN KUADRAT TERKECIL DAN FUNGSI HAMBATAN EKSPONENSIAL NEGATIF

Wahyu Susilo

Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil
Universitas Sebelas Maret
Jl. Ir. Sutami No. 36 Surakarta
wsusilo134@gmail.com

Syafi'i

Pengajar Jurusan Teknik Sipil
Universitas Sebelas Maret
Jl. Ir. Sutami No. 36 Surakarta
syafii_hn@yahoo.com

Tuti Agustin¹

Pengajar Jurusan Teknik Sipil
Universitas Sebelas Maret
Jl. Ir. Sutami No. 36 Surakarta
tutiagustin.uns11@gmail.com

Abstract

The increasing movement of people can cause various kinds of transportation problems, especially traffic jams. This study aims to estimate the distribution of movement between zones in Sragen Regency in the form of Origin Destination Matrix (O-D Matrix). Sragen Regency is used as study area and divided into 27 zones, consisting of 20 internal zones and 7 external zones. The O-D Matrix estimation is done using Gravity Model and EMME/3 program. Parameters on the Gravity Model were obtained using the Newton-Raphson Calibration Process with Least Squares Estimation Method and negative exponential function. The result of the study obtained a value of β parameter is 0,0647, the total movement in Sragen Regency in 2022 is 9.892 pcu/hour with a validity level of 0,8102 which means that 81,02% of the model can represent reality. The total movement consisting of Internal-Internal movement 70,65%, External-Internal movement 17,44%, Internal-External movement 11,91% and External-External movement 3,24%.

Keywords: EMME/3, Gravity Model, Least-Square, Origin Destination Matrix

Abstrak

Pergerakan manusia yang semakin meningkat dapat menyebabkan berbagai macam permasalahan transportasi, terutama kemacetan. Penelitian ini bertujuan untuk memperkirakan distribusi pergerakan antar zona di Kabupaten Sragen yang disajikan dalam bentuk Matriks Asal Tujuan (MAT). Kabupaten Sragen digunakan sebagai wilayah kajian dan dibagi menjadi 27 zona yang terdiri dari 20 zona internal dan 7 zona eksternal. Proses estimasi MAT dilakukan menggunakan Model *Gravity* batasan bangkitan-tarikan dan menggunakan *software* EMME/3. Dalam Model *Gravity* terdapat parameter β yang pada penelitian ini dicari menggunakan proses kalibrasi Newton-Raphson metode penaksiran kuadrat terkecil dan fungsi hambatan eksponensial negatif. Hasil dari penelitian ini adalah didapatkan nilai parameter β sebesar 0,0647, total pergerakan kendaraan di Kabupaten Sragen tahun 2022 sebesar 9.892 smp/jam dengan tingkat validitas sebesar 0,8102 yang berarti 81,02% model dapat mewakili realita dan tergolong dalam kategori sangat tinggi. Total pergerakan tersebut terdiri atas pergerakan Internal-Internal sebesar 70,65%, Eksternal-Internal sebesar 17,44%, Internal-Eksternal sebesar 11,91% dan Eksternal-Eksternal sebesar 3,24%.

Kata Kunci : EMME/3, Kuadrat Terkecil, Matriks Asal Tujuan, Model *Gravity*

PENDAHULUAN

¹ Corresponding author: tutiagustin.uns11@gmail.com

Transportasi merupakan kebutuhan turunan (*derived demand*) akibat adanya aktivitas ekonomi, sosial, budaya dan sebagainya. Dalam transportasi, ada dua unsur penting yaitu pemindahan/pergerakan dan secara fisik mengubah tempat dari barang dan penumpang ke tempat lainnya. Perkembangan dan peningkatan populasi pada suatu daerah serta kebutuhan manusia untuk beraktivitas merupakan beberapa contoh penyebab meningkatnya pergerakan. Peningkatan pergerakan ini dapat berdampak pada kondisi lalu lintas di daerah tersebut dan menimbulkan permasalahan transportasi seperti kemacetan. Kemacetan dapat dicegah dengan perencanaan transportasi yang baik.

Perencanaan transportasi terdiri dari beberapa unsur penting, salah satunya adalah pemodelan transportasi. Pemodelan transportasi adalah penyebaran matriks asal tujuan pada suatu jaringan jalan sehingga menghasilkan arus lalu lintas pada waktu rencana untuk menghasilkan kinerja jaringan jalan. Model yang paling populer dalam perencanaan transportasi adalah model perencanaan transportasi empat tahap (*four steps model*) yaitu *trip generation* (bangkitan dan tarikan pergerakan), *trip distribution* (distribusi pergerakan), *modal choice* (pemilihan moda) dan *trip assignment* (pembeban perjalanan). Model yang digunakan pada penelitian ini adalah model *trip distribution* atau distribusi pergerakan yang dapat memperkirakan sebaran pergerakan yang meninggalkan atau menuju suatu zona yang hasilnya dapat disajikan dalam bentuk Matriks Asal Tujuan (MAT). Penelitian ini menggunakan metode sintesis yang sering digunakan untuk mengestimasi MAT yaitu model *gravity* karena model ini sederhana dan mudah dipahami.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pola distribusi pergerakan di Kabupaten Sragen menggunakan Model *Gravity*. Estimasi parameter β menggunakan proses kalibrasi Newton-Raphson dengan metode Kuadrat Terkecil dan fungsi hambatan Eksponensial-Negatif. Untuk mempermudah proses pemodelan, digunakan bantuan piranti lunak EMME/3 dan Microsoft Excel.

Model Gravity

Model *Gravity* merupakan model yang sering digunakan karena sederhana dan mudah dimengerti serta digunakan. Model ini beranggapan bahwa pergerakan transportasi dipengaruhi oleh populasi di zona asal dan aksesibilitas menuju zona tujuan. Model ini menjelaskan bahwa pergerakan antar zona berbanding lurus dengan total pergerakan dan berbanding terbalik kuadratis dengan jarak kedua zona. Sehingga dapat dinyatakan sebagai berikut:

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

Dimana:

- T_{id} = Jumlah pergerakan dari zona asal *i* ke zona tujuan *d*
- O_i = Total pergerakan dari zona asal *i*
- D_d = Total pergerakan dari zona tujuan *d*
- A_i = Faktor penyeimbang untuk setiap zona asal *i*
- B_d = Faktor penyeimbang untuk setiap zona asal *d*
- f(C_{id}) = Fungsi hambatan antara zona *i* dan *d*

Metode Kuadrat Terkecil

Metode Kuadrat Terkecil memiliki dasar yaitu untuk membuat selisih antara sebaran pergerakan hasil pemodelan dan sebaran pergerakan hasil pengamatan memberikan nilai yang minimum. Sesuai dengan namanya, metode ini meminimumkan kuadrat dari selisih antara hasil pemodelan dengan hasil pengamatan. Metode Kuadrat Terkecil dapat dijelaskan menggunakan persamaan (2).

$$\frac{\partial S}{\partial \beta} = f = \sum_{i=1}^N \sum_{d=1}^N \left[\frac{2}{T} (Tid - \hat{T}id) \frac{\partial Tid}{\partial \beta} \right] \quad (2)$$

Kalibrasi Newton-Raphson

Proses kalibrasi diperlukan sebagai proses penaksiran parameter yang belum diketahui pada suatu model dan bertujuan untuk membuat model tersebut dapat memberikan hasil yang mendekati dengan realita. Metode ini dapat dihitung dengan eliminasi Gauss-Jordan, sehingga nilai h dapat ditentukan dengan persamaan (3) dan selanjutnya digunakan untuk mencari nilai parameter β menggunakan persamaan (4).

$$h = - \frac{f}{\left(\frac{\partial f}{\partial \beta} \right)} \quad (3)$$

$$\beta_1 = \beta_0 + h \quad (4)$$

Indikator Uji Statistik (R²)

Indikator uji statistik diperlukan pada penelitian ini untuk mengetahui tingkat kemiripan antara arus lalu lintas hasil pemodelan dengan arus lalu lintas hasil pengamatan menggunakan koefisien determinasi (R²) yang dapat dirumuskan dengan persamaan (5).

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

Klasifikasi tingkat validitas koefisien determinasi dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Tingkat Validitas Koefisien Determinasi

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*)

Penelitian ini menggunakan *software* EMME/3 sebagai alat bantu untuk mengestimasi pergerakan kendaraan di Kabupaten Sragen yang disajikan dalam bentuk MAT. Program EMME/3 dipilih karena memiliki perangkat perencanaan yang komplit untuk kebutuhan pemodelan transportasi. Untuk menggunakan program ini, diperlukan basis data jaringan jalan yang digunakan sebagai data masukan untuk proses pembebanan di jaringan jalan yang telah dibuat.

KAJIAN PUSTAKA

Josephin Onesifera Rum (2021) mengestimasi pergerakan kendaraan di Kabupaten Sukoharjo menggunakan model *Gravity*. Penaksiran parameter β dilakukan dengan metode penaksiran Kuadrat Terkecil dan fungsi hambatan eksponensial negatif menggunakan bantuan *software* EMME/3. Penelitian tersebut menghasilkan data berupa total pergerakan kendaraan di Kabupaten Sukoharjo pada tahun 2021 sebesar 16.364 smp/jam, dengan pergerakan terbesar terjadi pada pergerakan Eksternal-Eksternal sebesar 10.780 smp/jam dan pergerakan terkecil terjadi pada pergerakan Internal-Internal sebesar 1.119 smp/jam. Nilai parameter β yang didapat dari proses Kalibrasi Newton-Raphson dengan bantuan *software* Matlab sebesar 0,0613. Perhitungan uji validitas dengan menggunakan koefisien determinasi (R^2) diperoleh nilai R^2 sebesar 0,8194.

Andi Sitti Chairunnisa, dkk (2018) melakukan penelitian untuk mengestimasi Matriks Asal Tujuan pergerakan penumpang dan barang di gugus kepulauan Kecamatan Liukang Tupabbiring, Kabupaten Pangkep, Sulawesi Selatan. Model sebaran yang digunakan adalah Model *Gravity* yang disajikan dalam bentuk matriks asal tujuan. Hasilnya, diketahui bahwa mayoritas pergerakan penumpang dan barang adalah pergerakan dari dan menuju Kota Pangkajene, yaitu pergerakan penumpang sebesar 67% dan pergerakan barang sebesar 77%. Sisanya merupakan pergerakan antar gugus kepulauan yaitu pergerakan penumpang sebesar 33% dan pergerakan barang sebesar 23%.

Taufik Rahman (2018) melakukan penelitian untuk mengetahui karakteristik dan pola sebaran pergerakan antar zona di Kecamatan Samarinda Ulu, Kota Samarinda, Kalimantan Timur. Wilayah studi yang dipakai adalah Kecamatan Samarinda Ulu dan dibagi menjadi beberapa zona berdasarkan batas administrasi yaitu batas kelurahan. Pengambilan data menggunakan metode konvensional yaitu wawancara di lapangan dan analisis data menggunakan model *Gravity*. Dari 1055 responden, pergerakan terbesar terjadi dengan tujuan sekolah sebesar 425 pergerakan (40%) dan pergerakan terkecil terjadi dengan tujuan rekreasi sebesar 57 (5%). Bangkitan dan tarikan pergerakan terbesar sama-sama terjadi di Kelurahan Gunung Kelua dengan persentase sebesar 18% dan 20%.

Perbedaan penelitian ini dengan penelitian-penelitian tersebut adalah data yang diambil pada penelitian ini merupakan data hasil survei lalu lintas di Kabupaten Sragen tahun 2022 menggunakan model *Gravity* batasan bangkitan-tarikan. Parameter β dicari menggunakan proses kalibrasi Newton-Raphson dengan metode penaksiran Kuadrat Terkecil dan fungsi hambatan eksponensial negatif. Proses analisis data dilakukan dengan bantuan program

EMME/3 dan Microsoft Excel. Pengujian validitas hasil penelitian menggunakan koefisien determinasi (R^2).

METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Penelitian ini menggunakan Kabupaten Sragen sebagai wilayah kajian. Kabupaten Sragen merupakan salah satu kabupaten di Jawa Tengah yang berbatasan dengan Kabupaten Boyolali di barat, Kabupaten Karanganyar di selatan, Kabupaten Grobogan di utara, dan Kabupaten Ngawi di timur. Secara administrasi, Kabupaten Sragen terbagi menjadi 20 kecamatan yang terdiri dari 12 kelurahan dan 196 desa. Jumlah penduduk Kabupaten Sragen pada tahun 2021 semester 1 sebanyak 1.005.566 jiwa dengan kepadatan penduduk rata-rata 919 jiwa/km².

Pembagian zona pada penelitian ini didasarkan pada batas administrasi berupa kecamatan baik di internal maupun di eksternal Kabupaten Sragen, sehingga didapatkan 20 zona internal dan 7 zona eksternal. Penentuan lokasi survei didasarkan pada klasifikasi fungsi jalan dan beberapa ruas jalan yang dianggap dapat mewakili pergerakan di Kabupaten Sragen. Batas administrasi di Kabupaten Sragen dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta Administrasi Kabupaten Sragen

Pengumpulan Data

Penelitian ini menggunakan dua jenis data yaitu data primer dan data sekunder. Data primer berupa data volume lalu lintas (*traffic count*) yang didapatkan dari hasil pengamatan langsung di lapangan dan hasil pengamatan CCTV di Dinas Perhubungan saat jam puncak pagi pukul 06.45 - 07.45 WIB dengan interval waktu 15 menit. Data sekunder berupa peta administrasi, data jaringan jalan, data geometri jalan, dan data kependudukan Kabupaten Sragen yang diperoleh dari BAPPEDA, DPUPR, DISHUB, dan BPS Kabupaten Sragen.

Pengolahan Basis Data Jaringan Jalan

Basis data jaringan jalan diperlukan untuk memenuhi kebutuhan membentuk jaringan jalan pada program EMME/3. Pengolahan basis data diawali dengan melakukan konversi arus lalu lintas hasil survei menjadi satuan mobil penumpang sesuai ketentuan MKJI 1997. Kemudian dilakukan perhitungan kapasitas, kecepatan dan waktu tempuh pada masing-masing ruas jalan berdasarkan pedoman MKJI 1997.

Pada program EMME/3, proses pembuatan jaringan jalan dapat dimulai dengan memasukkan koordinat titik survei ke dalam program EMME/3 dan dihubungkan satu sama lain agar menjadi jaringan jalan yang lengkap. Selanjutnya, basis data yang telah dihitung sebelumnya dimasukkan ke jaringan jalan yang telah dibuat pada program EMME/3 bersama dengan data *traffic count* hasil survei.

MAT Hasil Estimasi EMME/3

Berdasarkan basis data yang telah dimasukkan ke program EMME/3, dilakukan estimasi matriks awal (*prior matrix*) terlebih dahulu menggunakan program EMME/3 dengan cara membebaskan matriks yang berisi angka 1 di setiap sel nya ke jaringan jalan Kabupaten Sragen. Kemudian *prior matrix* tersebut di bebaskan kembali ke jaringan jalan Kabupaten Sragen menggunakan program EMME/3 dan menghasilkan Matriks Asal Tujuan hasil estimasi EMME/3.

Kalibrasi Parameter Beta (β)

Untuk estimasi parameter β ini menggunakan proses kalibrasi Newton-Raphson dengan metode penaksiran Kuadrat Terkecil dan fungsi hambatan Eksponensial Negatif. Proses kalibrasi ini dilakukan dengan bantuan program Microsoft Excel hingga menemukan nilai β yang konvergen.

MAT Hasil Model Gravity

MAT hasil model *Gravity* bisa diketahui dengan memasukkan nilai parameter β hasil kalibrasi yang telah diperoleh sebelumnya ke dalam persamaan model *Gravity* batasan bangkitan-tarikan menggunakan program Microsoft Excel. MAT hasil model *Gravity* tersebut menggambarkan total distribusi pergerakan hasil pemodelan.

Pembebanan MAT ke Jaringan Jalan

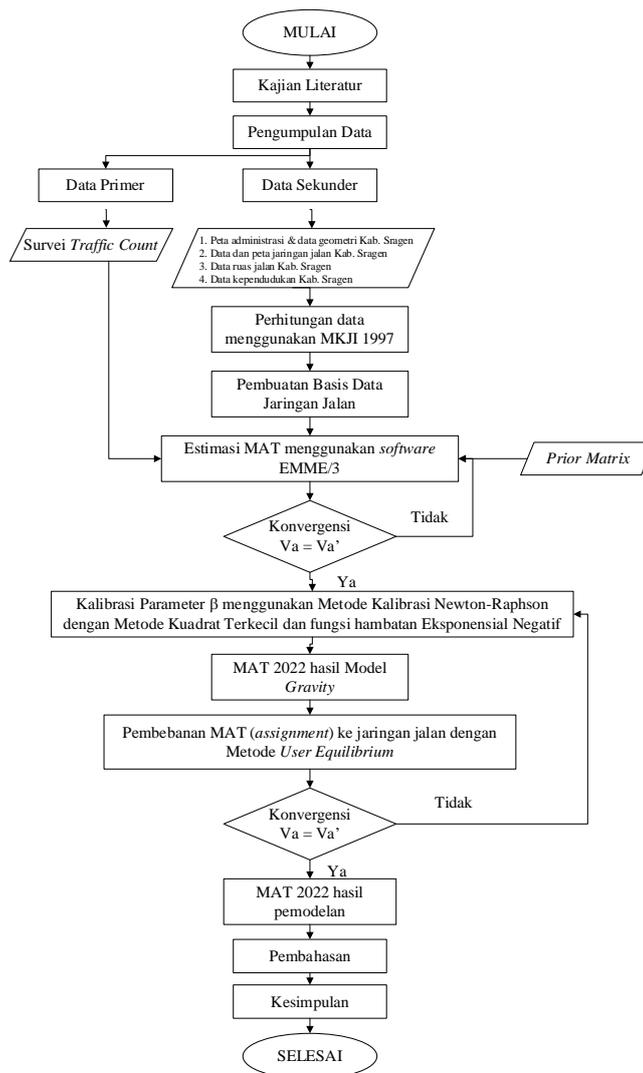
MAT hasil model *Gravity* kemudian dibebankan ke jaringan jalan Kabupaten Sragen menggunakan bantuan program EMME/3 dengan metode *auto assignment* seperti pada pembebanan sebelumnya, yaitu metode pembebanan yang pengaturan dan penyesuaiannya sepenuhnya dilakukan oleh program EMME/3. Proses ini menghasilkan arus lalu lintas pada jaringan jalan Kabupaten Sragen hasil pemodelan.

Uji Validitas

Arus lalu lintas hasil pemodelan yang didapatkan pada tahap sebelumnya kemudian dibandingkan dengan arus lalu lintas hasil pengamatan (*traffic count*) menggunakan metode uji statistik koefisien determinasi (R^2). Hasil dari uji validitas ini menunjukkan seberapa besar kemiripan antara arus lalu lintas hasil pemodelan dan arus lalu lintas hasil pengamatan.

Tahap Penelitian

Berikut dilampirkan diagram alir untuk memberi gambaran tentang tahap penelitian ini yang dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Alir Tahap Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Parameter Beta (β)

Dari proses kalibrasi Newton-Raphson dengan metode Kuadrat Terkecil dan fungsi hambatan Eksponensial Negatif yang dilakukan dengan bantuan program Microsoft Excel didapatkan nilai parameter β sebesar 0,0647. Nilai parameter β tersebut selanjutnya digunakan untuk melakukan estimasi Matriks Asal Tujuan menggunakan model *Gravity*. Hasilnya didapatkan total pergerakan yang terjadi di Kabupaten Sragen sebesar 9.892 smp/jam. Rincian pergerakan antar zona dapat dilihat pada Gambar 3.



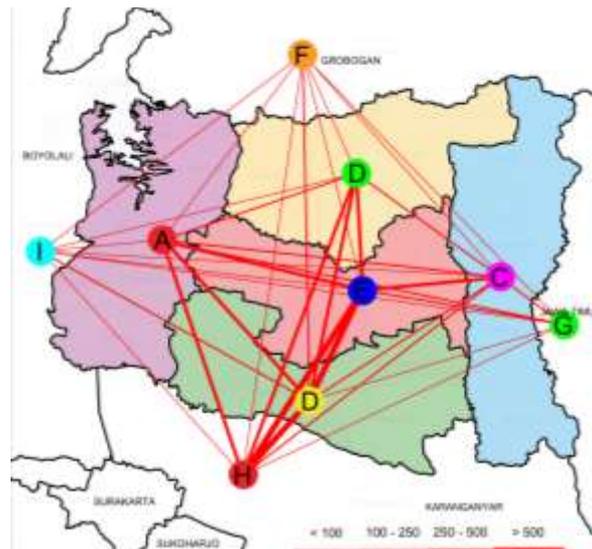
Gambar 3. Rincian Pergerakan Antar Zona

Dari hasil analisis diketahui bahwa pergerakan internal-internal memiliki jumlah pergerakan paling tinggi sebesar 6.670 smp/jam. Hal ini dapat terjadi karena mayoritas warga Kabupaten Sragen usia pekerja dan pelajar memilih untuk bekerja dan bersekolah di wilayah Kabupaten Sragen itu sendiri. Jumlah warga usia kerja di Kabupaten Sragen adalah 458.856 orang dan usia pelajar sebanyak 193.814 orang (Badan Pusat Statistik Kabupaten Sragen, 2021). Pergerakan pekerja dan pelajar ini dapat memberikan dampak yang cukup signifikan pada pergerakan internal-internal. Terlebih lagi survei dilakukan saat pukul 06.45 - 07.45 WIB yang merupakan waktu berangkat bagi mayoritas pekerja dan pelajar tersebut.

Pergerakan zona eksternal-internal dan internal-eksternal pun menunjukkan jumlah pergerakan yang besar pula. Hal ini dapat disebabkan karena Kabupaten Sragen memiliki industri besar maupun sedang yang tersebar di Kecamatan Sragen, Masaran, Sidoharjo, Sambungmacan, Gemolong dan Tanon. Terutama di wilayah Kecamatan Masaran, Sambungmacan dan Gemolong yang merupakan daerah perbatasan sehingga dapat berpengaruh cukup besar terhadap pergerakan eksternal-internal dan internal-eksternal.

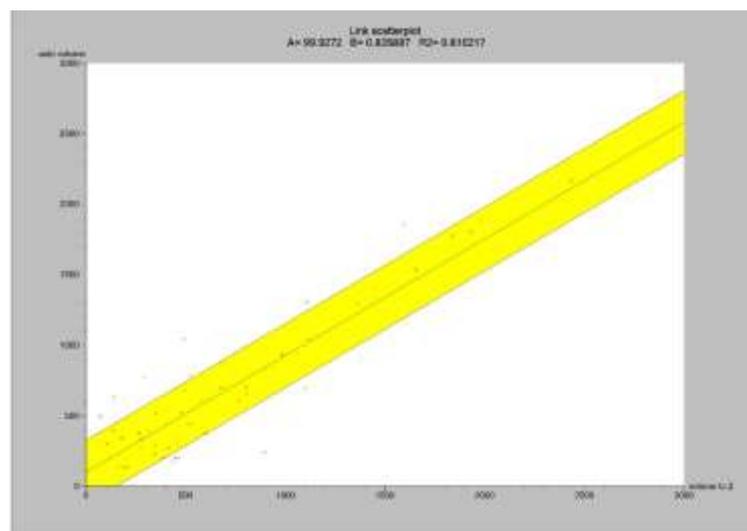
Pergerakan terkecil terjadi pada pergerakan eksternal-eksternal. Hal ini disebabkan karena belum banyak masyarakat yang bepergian pada waktu dilakukan survei yaitu pukul 06.45-07.45 WIB. Jumlah titik survei di zona eksternal yang jauh lebih sedikit dari zona internal juga dapat berpengaruh terhadap hasil survei tersebut. Sebagai perbandingan, zona internal memiliki 21 titik survei dan zona eksternal hanya memiliki 8 titik survei.

Dari hasil analisis tersebut, dapat dibuat sebuah garis keinginan (*desire line*) yang dapat dilihat pada Gambar 4. Pada *desire line* tersebut, terdapat perbedaan tebal garis di masing-masing pergerakan antar zona yang digunakan untuk membedakan besarnya pergerakan pada zona tersebut. Semakin tebal garisnya maka semakin besar jumlah pergerakan yang terjadi.



Gambar 4. *Desire Line* Hasil Analisis

MAT hasil pemodelan yang telah didapatkan kemudian diuji tingkat validitasnya untuk mengetahui tingkat kemiripan data hasil pemodelan dengan data hasil pengamatan. Uji validitas dilakukan dengan koefisien determinasi dan didapatkan nilai R^2 sebesar 0,8102 dan tergolong dalam tingkat validitas sangat tinggi. Nilai R^2 hasil uji validitas dapat dilihat pada Gambar 5 berikut.



Gambar 5. Grafik Hasil Uji Validitas

KESIMPULAN

Dari analisis data estimasi Matriks Asal Tujuan di Kabupaten Sragen dengan Model *Gravity* tahun 2022 diperoleh total pergerakan sebesar 9.892 smp/jam. Pergerakan antar zona dari yang terbesar adalah pergerakan internal-internal sebesar 70,65%, pergerakan eksternal-internal sebesar 17,44%, pergerakan internal-eksternal sebesar 11,91%, dan pergerakan eksternal-eksternal sebesar 3,24%. Nilai parameter β yang didapatkan melalui proses kalibrasi Newton-Raphson dengan metode penaksiran Kuadrat Terkecil dan fungsi hambatan eksponensial negatif sebesar 0,0647. Hasil uji validitas antara MAT hasil pemodelan dengan MAT hasil pengamatan yang dilakukan menggunakan koefisien determinasi didapatkan nilai R^2 sebesar 0,8102 yang tergolong dalam tingkat validitas sangat tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Aprilliansyah, T. dan Herman. 2015. Perkiraan Distribusi Pergerakan Penumpang di Provinsi Jawa Barat berdasarkan Asal Tujuan Transportasi Nasional. Jurnal Online Institut Teknologi Nasional, hal. 29-40.
- Badan Pusat Statistik Kabupaten Sragen. 2021. Statistik Daerah Kabupaten Sragen 2021. Badan Pusat Statistik Kabupaten Sragen.
- Chairunnisa, A. S., Asri, S., Bochari, L., Firmansyah, M. R. dan Zulkifli. 2018. Model Sebaran Pergerakan di Kawasan Gugus Pulau Kecamatan Liukang Tupabbiring Kabupaten Pangkep. SENSISTEK: Riset Sains dan Teknologi Kelautan, hal. 127-134.
- Departemen Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. 1997. Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI). Departemen Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat RI.
- Manoppo, M. R. dan Sendow, T. K. 2011. Analisa Bangkitan Pergerakan dan Distribusi Perjalanan di Kota Manado. Jurnal Ilmiah Media Engineering, hal. 17-23.
- Rahman, T. 2018. Karakteristik Sebaran Pergerakan Menggunakan Metode Sintetis Gravity Kecamatan Samarinda Ulu. Kurva Mahasiswa, hal. 1306-1314.
- Rum, J. O., Syafi'i dan Legowo, S. J. 2021. Estimasi Parameter Model Gravity dengan Metode Penaksiran Kuadrat Terkecil dan Fungsi Hambatan Eksponensial Negatif (Studi Kasus Kabupaten Sukoharjo). e-Jurnal Matriks Teknik Sipil, hal. 84-90.