

ESTIMASI PARAMETER MODEL GRAVITY DENGAN METODE INFERENSI-BAYES DAN FUNGSI HAMBATAN EKSPONENSIAL NEGATIF (STUDI KASUS KABUPATEN SUKOHARJO)

Sesilia Bintang Berliansa¹⁾ Syafi'i²⁾ Slamet Jauhari Legowo³⁾

¹⁾Mahasiswa Fakultas Teknik, Prodi Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

^{2),3)} Pengajar Fakultas Teknik, Prodi Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

Jl. Ir. Sutami 36A, Kentingan Surakarta 57126; Telp. (0271) 634524, Fax 662118

Email: bintangsesilia@gmail.com

Abstract

The high intensity of activities in an area will cause transportation problems. Therefore, it is necessary to carry out transportation planning in the form of an origin-destination matrix obtained using the Gravity Model and the parameter as a function of resistance. The purpose of this study was to determine the value of the parameter, the total movement, and the level of validity of the comparison of the observed traffic flow with the modeled traffic flow. This Origin Destination Matrix estimation used the Gravity Model with the generation and pulls constraints assisted by the EMME/3 program. This Origin Destination Matrix estimation required a parameter that is obtained by Newton-Raphson Calibration Method through the Microsoft Excel program. The loading of Origin Destination Matrix to the road network obtained through the User Equilibrium method resulted in traffic flow. In this study, the value of the parameter from the results of calculations using the Microsoft Excel program was 0.0800. The Origin Destination Matrix estimation results in a total estimated movement of Sukoharjo Regency in 2021 which was 16,361 pcu/hour and had a validity level (R^2) of 0.8150.

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

Abstrak

Tingginya intensitas kegiatan di suatu daerah akan menyebabkan terjadinya permasalahan transportasi. Oleh karena itu, perlu dilakukan perencanaan transportasi berupa Matriks Asal Tujuan yang diperoleh dengan menggunakan Model Gravity dan parameter β sebagai fungsi hambatan. Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui nilai parameter β , total pergerakan, dan tingkat validitas perbandingan arus lalu lintas hasil pengamatan dengan arus lalu lintas hasil permodelan. Estimasi Matriks Asal Tujuan ini menggunakan Model Gravity dengan batasan bangkitan dan tarikan yang dibantu oleh program EMME/3. Pengestimasian Matriks Asal Tujuan ini membutuhkan parameter β yang diperoleh dengan Metode Kalibrasi Newton-Raphson melalui program Microsoft Excel. Pembebanan Matriks Asal Tujuan ke jaringan jalan yang diperoleh melalui metode User Equilibrium akan menghasilkan arus lalu lintas. Pada penelitian ini, diperoleh nilai parameter β dari hasil perhitungan menggunakan program Microsoft Excel sebesar 0,0800. Estimasi Matriks Asal Tujuan menghasilkan total estimasi pergerakan Kabupaten Sukoharjo tahun 2021 adalah 16.361 smp/jam dan memiliki tingkat validitas (R^2) sebesar 0,8150.

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

PENDAHULUAN

Bertambahnya jumlah penduduk dan meningkatnya intensitas kegiatan di suatu daerah akan menimbulkan terjadinya suatu bangkitan dan tarikan pergerakan dari zona satu menuju zona lainnya. Situasi ini sangat mempengaruhi peningkatan volume lalu lintas yang kemudian akan berpengaruh pada kinerja jaringan jalan. Apabila volume lalu lintas di suatu ruas jalan tidak seimbang dengan kapasitas ruas jalan tersebut, maka akan terjadi penurunan kinerja jaringan jalan atau permasalahan transportasi yaitu kemacetan lalu lintas. Dengan demikian, perlu dilakukan suatu pemodelan transportasi sebagai solusi permasalahan transportasi. Pemodelan transportasi yang dapat mengestimasi distribusi pergerakan dari suatu zona dan tertarik ke zona lainnya adalah *trip distribution* yang digambarkan dalam bentuk Matriks Asal Tujuan (MAT) atau disajikan dalam bentuk *desire line*.

Matriks Asal Tujuan (MAT) memiliki definisi sebagai matriks berbentuk dua dimensi yang menyampaikan penjelasan mengenai total pergerakan antar zona pada wilayah studi. Pengestimasian Matriks Asal Tujuan menggunakan Model Gravity dengan parameter β yang merupakan salah satu parameter dari fungsi biaya pada sebaran pergerakan di suatu zona. Parameter β adalah salah satu parameter yang digunakan sebagai faktor penentu dalam mendapatkan sebaran pola pergerakan di suatu jaringan jalan. Perhitungan parameter β menggunakan Metode Kalibrasi Newton-Raphson yang mengacu pada pendekatan nilai $f(\beta)$ yaitu Metode Inferensi-Bayes.

Kabupaten Sukoharjo merupakan kabupaten yang terletak di Provinsi Jawa Tengah yang memiliki luas wilayah 489,12 km² dan jumlah penduduk 906.403 jiwa pada tahun 2019 semester 2. Kabupaten Sukoharjo berbatasan dengan beberapa kota dan kabupaten di sekitarnya. Oleh karena itu, pergerakan di Kabupaten Sukoharjo juga dipengaruhi oleh pergerakan yang terjadi di beberapa daerah sekitarnya sehingga mengakibatkan volume lalu lintas di suatu ruas jalan tidak seimbang dengan kapasitas ruas jalan. Dengan demikian, perlu dilakukan studi kasus mengenai estimasi Matriks Asal Tujuan (MAT) pada Kabupaten Sukoharjo guna menemukan solusi yang tepat dari permasalahan transportasi yang ada.

DASAR TEORI

Transportasi

Transportasi secara umum memiliki definisi sebagai pergerakan manusia/barang/informasi dari zona asal menuju zona tujuan dengan cepat, aman, murah, nyaman, dan sesuai lingkungan. Timbulnya transportasi didasarkan pada beberapa persoalan, yaitu salah satunya adalah barang, jasa, dan informasi tidak berada dalam satu kesatuan dengan tempat tinggal manusia.

Pemodelan Transportasi

Tamin (2000) mendefinisikan model sebagai bentuk simplifikasi suatu realita secara terukur pada tujuan tertentu contohnya memberikan pengertian, penjelasan, dan peramalan.

Pemodelan transportasi sebagai unsur perencanaan transportasi menggunakan empat tahapan (*four steps model*) yang berkesinambungan, yaitu:

1. *Trip Generation* (Bangkitan Perjalanan), adalah tahap pemodelan permintaan perjalanan yang menjelaskan mengenai perkiraan besarnya jumlah perjalanan di suatu zona. Dengan artian bahwa *trip generation* suatu model yang melihat total pergerakan dari zona satu menuju zona lainnya. Tahapan ini terbagi menjadi dua, yaitu:
 - a. *Trip Production*, merupakan estimasi total pergerakan yang datang dari suatu zona.
 - b. *Trip Attraction*, merupakan estimasi total pergerakan yang mengarah ke suatu zona.
 Metode analisis yang digunakan pada langkah ini adalah metode analisis kategori dan metode regresi kuadrat terkecil.
2. *Trip Distribution* (Sebaran Perjalanan), adalah sebaran perjalanan dari setiap zona asal yang menuju semua zona tujuan. Langkah ini dapat diaplikasikan dalam Matriks Asal Tujuan (MAT).
3. *Modal Split* (Pemilihan Modal), merupakan suatu tahapan yang digunakan untuk mendapati proporsi penumpang yang menggunakan suatu moda dengan mempertimbangkan fungsi utilitas masing-masing. Moda yang dimaksud umumnya terbagi dua, yaitu moda kendaraan pribadi dan moda transportasi umum.
4. *Trip Assignment* (Pembebanan Perjalanan), adalah suatu model bertujuan untuk mengestimasi jumlah bangkitan perjalanan yang akan menggunakan setiap rute yang menghubungkan setiap zona.

Matriks Asal Tujuan

Manopo dan Sendow (2011) mendefinisikan Matriks Asal Tujuan sebagai matriks yang memberikan penjelasan mengenai distribusi pergerakan antar zona di suatu wilayah. Pada Matriks Asal Tujuan baris menunjukkan zona asal, sedangkan kolom menunjukkan zona tujuan, sehingga seluruh sel pada matriks menunjukkan arus dari zona asal menuju zona tujuan. Representasi pola pergerakan dalam Matriks Asal Tujuan dapat dilihat pada Tabel 1 dibawah ini.

Tabel 1. Representasi pola pergerakan dalam Matriks Asal Tujuan

D_a/O_i	1	2	3	...	S	O_i
1	T_{11}	T_{12}	T_{13}	...	T_{1S}	O_1
2	T_{21}	T_{22}	T_{23}	...	T_{2S}	O_2
3	T_{31}	T_{32}	T_{33}	...	T_{3S}	O_3
...
S	T_{S1}	T_{S2}	T_{S3}	...	T_{SS}	...
D_a	D_1	D_2	D_3	...	D_S	$\sum T$

Model Gravity

Model *Gravity* adalah metode sintesis (interaksi spasial) yang kerap kali digunakan karena sangat sederhana dan mudah digunakan. Secara umum Model *Gravity* dinyatakan dalam bentuk persamaan [1] dibawah ini.

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

Keterangan:

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

Penelitian ini menggunakan fungsi hambatan eksponensial negatif yang dijelaskan dalam bentuk persamaan [2] berikut.

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

Faktor penyeimbang yang digunakan pada penelitian ini adalah batasan bangkitan dan tarikan, sehingga nilai A_i dan B_d adalah seperti pada persamaan [3].

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

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

Metode Kalibrasi Newton-Raphson

Metode Kalibrasi Newton-Raphson adalah suatu metode yang mengacu pada pendekatan $f(\beta)$. Metode ini juga dapat didefinisikan sebagai proses pengulangan yang dilakukan dengan mengkalibrasi nilai parameter hingga mencapai batas konvergensinya.

Indikator Uji Statistik

Indikator uji statistik digunakan untuk melakukan perbandingan kinerja setiap metode estimasi yang ditinjau dari hasil indikator statistik. Tamin (2000) menjelaskan bahwa pengestimasi Matriks Asal Tujuan yang dihasilkan dari data lalu lintas melalui pendekatan model dan memperoleh arus lalu lintas yang harus sama dengan data arus lalu lintas hasil pengamatan di lapangan. Penelitian ini menggunakan koefisien determinasi (R^2) sebagai indikator uji statistik. Nilai koefisien determinasi diperoleh menggunakan perhitungan seperti pada persamaan [5].

$$R^2 = \frac{\sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum (Y_i - \bar{Y}_i)^2} \dots\dots\dots [5]$$

Dimana:

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

METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Penelitian ini mengambil Kabupaten Sukoharjo sebagai daerah kajian. Secara administrasi, Kabupaten Sukoharjo dibagi menjadi 12 kecamatan yang memiliki 17 kelurahan dan 150 desa. Jumlah penduduk Kabupaten tersebut pada tahun 2019 semester 2 berjumlah 906.403 jiwa manusia (Dinas Kependudukan dan Pencatatan Sipil Kabupaten Sukoharjo). Peta Kabupaten Sukoharjo ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta Kabupaten Sukoharjo

Penelitian ini menggunakan sistem pembagian zona berdasarkan batasan administrasi kecamatan. Penelitian ini menggunakan beberapa zona internal di Kabupaten Sukoharjo dan beberapa zona eksternal yang berasal dari kota atau kabupaten yang berbatasan dengan Kabupaten Sukoharjo.

Pembagian Zona

Pembagian zona dalam penelitian ini didasarkan pada batas administrasi berupa kecamatan karena dalam realitanya sangat sulit membuat batasan zona berdasarkan keseragaman tata guna lahan. Terdapat 36 zona dengan 12 zona internal dan 24 zona eksternal dalam penelitian ini. Penguraian zona internal ditampilkan pada Tabel 2 dan zona eksternal pada Tabel 3.

Tabel 2. Pembagian zona internal

No. Zona	Nama Zona
701	Kec. Kartasura
702	Kec. Gatak
703	Kec. Baki
704	Kec. Grogol
705	Kec. Mojolaban
706	Kec. Polokarto
707	Kec. Sukoharjo
708	Kec. Bendosari
709	Kec. Tawang Sari
710	Kec. Nguter
711	Kec. Bulu
712	Kec. Weru

Tabel 3. Pembagian zona eksternal

No. Zona	Nama Zona
713	Arah ke Boyolali
714	Arah ke Surakarta (Kerten)
715	Arah ke Surakarta (Laweyan)
716	Arah ke Surakarta (Serengan)
717	Arah ke Surakarta (Pasar Kliwon)
718	Arah ke Surakarta (Mojo)
719	Arah ke Karanganyar (Tugu Jumantono)
720	Arah ke Wonogiri (Telaga Claket)
721	Arah ke Gunung Kidul (Candirejo)
722	Arah ke Gunung Kidul (Semin)

No. Zona	Nama Zona
723	Arah ke Klaten (Bayat)
724	Arah ke Klaten (Delanggu)
725	Arah ke Karanganyar (Jaten)
726	Arah ke Karanganyar (Jumapolo)
727	Arah ke Karanganyar (Jatipuro)
728	Arah ke Wonogiri (Ngasinan)
729	Arah ke Wonogiri (Selogiri)
730	Arah ke Wonogiri (Manyaran)
731	Arah ke Klaten (Cawas)
732	Arah ke Klaten (Karangdowo)
733	Arah ke Klaten (Juwiring)
734	Arah ke Klaten (Wonosari)
735	Arah ke Karanganyar (Klegen)
736	Arah ke Karanganyar (Colomadu)

Teknik Pengumpulan Data

Data primer didapatkan melalui survei pendahuluan melalui data CCTV di berbagai titik yang kemudian dilanjutkan dengan survei volume lalu lintas dan hambatan samping di lapangan secara langsung, sedangkan pengumpulan data sekunder didapatkan melalui data penelitian sebelumnya dan dari instansi terkait, yaitu:

1. Badan Perencana Pembangunan Daerah (BAPPEDA).
2. Departemen Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang (DPUPR).
3. Dinas Perhubungan (DISHUB).

Matriks Asal Tujuan Hasil Estimasi

Matriks Asal Tujuan hasil estimasi didapatkan melalui beberapa tahapan, antara lain:

1. Memasukkan basis data jaringan jalan yang sudah diperoleh, yaitu jenis moda, simpul, koordinat, *link*, tipe jalan, kapasitas jalan, dan lebar jalan ke dalam perangkat lunak EMME/3.
2. Memasukkan matriks awal (*prior matrix*) yang telah diperoleh ke dalam perangkat lunak EMME/3
3. Hasil matriks baru tahun 2021 digunakan untuk proses kalibrasi parameter β yang selanjutnya akan dibebankan terhadap jaringan jalan untuk memperoleh arus lalu lintas hasil pemodelan yang kemudian diuji validitasnya dengan arus lalu lintas hasil pengamatan.

Estimasi MAT Hasil Pemodelan

Parameter β diperoleh melalui Metode Penaksiran Inferensi-Bayes dengan bantuan perangkat lunak Microsoft Excel untuk perhitungannya yang kemudian akan dikalibrasi dengan Metode Kalibrasi Newton-Raphson sampai mendapatkan hasil yang konvergen. Nilai parameter β yang diperoleh melalui metode kalibrasi Newton-Raphson digunakan untuk membuat estimasi Matriks Asal Tujuan tahun 2021 dengan Model *Gravity*.

Pembebanan MAT ke Jaringan Jalan

Matriks Asal Tujuan tahun 2021 kemudian dibebankan terhadap jaringan jalan menggunakan perangkat lunak EMME/3 melalui proses *assignment* dengan metode *User Equilibrium* dan menggunakan pendekatan algoritma Frank Wolfe. Pemodelan *equilibrium* memiliki asumsi dasar bahwa masing-masing pengemudi mencoba meminimalkan biaya perjalanannya. Biaya yang dimaksud menyatakan biaya untuk penggunaan perjalanan, kadang-kadang biaya ini digunakan untuk menyatakan *generalised cost*, yaitu kombinasi dari jarak, waktu tempuh, dan biaya perjalanan lainnya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Fungsi Hambatan

Pada penelitian ini, nilai parameter β diperoleh menggunakan Kalibrasi Newton-Raphson. Proses kalibrasi dikerjakan sesudah memperoleh Matriks Perjalanan (T_{id}) dan Matriks Biaya (C_{id}) dengan bantuan *software* Microsoft

Excel. Nilai parameter β yang diperoleh menggunakan metode Kalibrasi Newton-Raphson melalui metode Inferensi-Bayes dan fungsi hambatan eksponensial negatif pada penelitian ini adalah 0,0800.

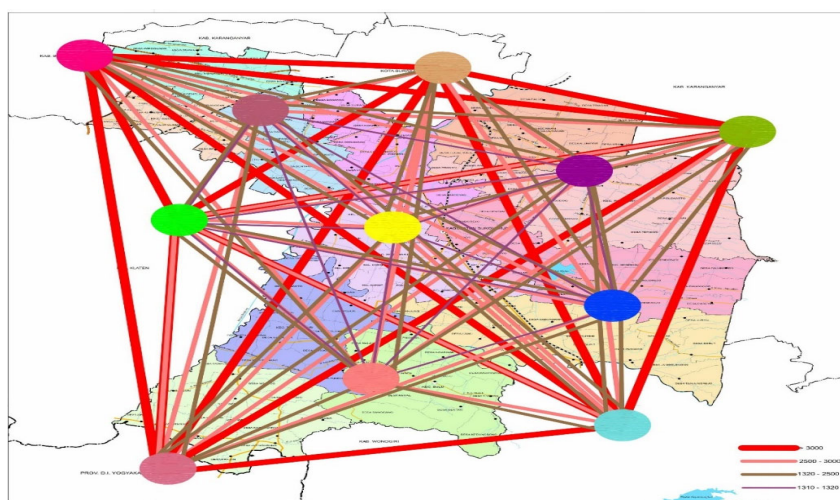
Estimasi MAT Perjalanan

Secara teori, Tamin (2000) menjelaskan bahwa Model *Gravity* dengan batasan bangkitan dan tarikan pergerakan yang digunakan untuk mengestimasi Matriks Asal Tujuan perjalanan harus menghasilkan total pergerakan yang sama dengan hasil estimasi melalui *software* EMME/3. Estimasi Matriks Asal Tujuan tahun 2021 yang diperoleh melalui Model *Gravity* dengan batasan bangkitan dan tarikan menghasilkan total pergerakan yaitu 16.361 smp/jam. Sebaran pergerakan di Kabupaten Sukoharjo yang direpresentasikan dengan Matriks Asal Tujuan dimana terdapat 36 zona dengan jumlah pergerakan seperti ditampilkan pada Tabel 4.

Tabel 4. MAT Tahun 2021 hasil Model *Gravity*

i/j	701	702	703	...	736	ΣO_i
701	21	8	7	...	14	485
702	1	10	3	...	1	80
703	0	2	7	...	0	84
...
736	7	4	4	...	14	273
ΣD_d	97	108	181	...	114	16.361

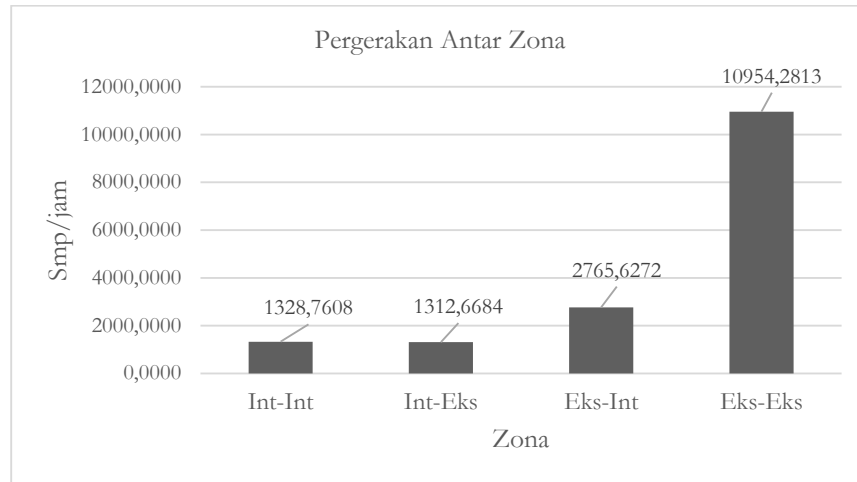
Besarnya pergerakan antar zona selain dapat dilihat dari tabel MAT tahun 2021 hasil estimasi, juga dapat dilihat dari *desire line* (garis keinginan) sebagaimana pada Gambar 2. *Desire line* didapatkan dengan mengagregasi zona yang berdekatan.



Gambar 2 *Desire Line* (Garis Keinginan) Kabupaten Sukoharjo Tahun 2021

Dalam gambar di atas, pergerakan internal dan eksternal diuraikan antar kecamatan dan dibagi menurut zona-zona yang saling berdekatan, sehingga terdapat 5 titik internal dan 5 titik eksternal. Tebal garis pada *desire line* mencerminkan banyaknya pergerakan. Semakin tebal garisnya maka semakin tinggi pergerakan yang terjadi, begitu pun sebaliknya.

Salah satu kegunaan estimasi Matriks Asal Tujuan adalah untuk melihat pola pergerakan yang terjadi dari setiap zona. Dalam mempermudah pengamatan pola pergerakan pada Kabupaten Sukoharjo, ditampilkan Gambar 3 yang menggambarkan pergerakan di setiap zona.



Gambar 3. Grafik pergerakan antar zona di Kabupaten Sukoharjo

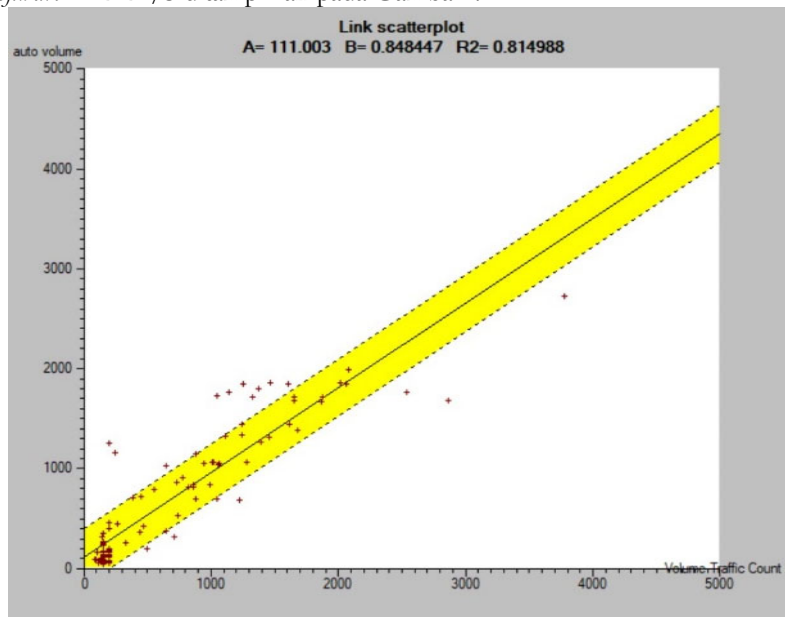
Pada Gambar 3 dijelaskan pola pergerakan antar zona yang terjadi di Kabupaten Sukoharjo. Apabila dipersentasekan, besarnya pola pergerakan antar zona Kabupaten Sukoharjo adalah:

- Internal-internal : 8,1213 %
- Internal-eksternal : 8,0230 %
- Eksternal-internal : 16,9034 %
- Eksternal-eksternal : 66,9522 %

Berdasarkan persentase yang telah dipaparkan, pergerakan eksternal menuju eksternal menjadi pergerakan tertinggi dengan persentase sebesar 66,9522 % dan total pergerakan 10.954 smp/jam. Sedangkan pergerakan internal ke eksternal menjadi pergerakan terendah dengan persentase sebesar 8,0230 % dan total pergerakan 1.313 smp/jam.

Uji Validitas

Nilai koefisien determinasi (R^2) yang diperoleh melalui perbandingan arus lalu lintas hasil pengamatan dengan arus lalu lintas hasil pemodelan adalah 0,8150 dengan galat sebesar 0,1850. Grafik uji validitas arus lalu lintas yang diperoleh melalui *software* EMME/3 ditampilkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik uji validitas arus lalu lintas

Grafik di atas menjelaskan bahwa tingkat validitas pemodelan pada penelitian ini termasuk dalam kategori sangat tinggi. Hal ini mengacu pada rentang koefisien determinasi dimana nilai 0,80-1,00 merupakan kategori sangat tinggi.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dalam mengestimasi Matriks Asal Tujuan perjalanan dan membebarkannya terhadap jaringan jalan Kabupaten Sukoharjo, disimpulkan bahwa nilai parameter β yang diperoleh adalah 0,0800. Estimasi Matriks Asal Tujuan perjalanan yang diperoleh melalui Model *Gravity* dari nilai parameter β yang dianalisis menggunakan Metode Penaksiran Inferensi-Bayes dengan bantuan *software* EMME/3 menghasilkan total distribusi pergerakan sebesar 16.361 smp/jam. Nilai validitas yang dihitung dengan koefisien determinasi (R^2) menghasilkan nilai R^2 sebesar 0,8150 dan termasuk dalam kategori validitas sangat tinggi.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Bapak Dr. Eng. Ir. Syafi'i, M.T. dan Bapak Slamet Jauhari Legowo, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing pertama dan kedua dalam penelitian ini, serta kepada orang tua dan semua pihak yang telah memberi dukungan dan semangat bagi penulis dalam menyelesaikan penelitian ini.

REFERENSI

- Astria, Zuli, Syafi'i, dan Legowo, Selamet 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.
- Manoppo, M.R.E. dan Sendow, T.K., 2011, "Analisa Bangkitan Pergerakan dan Distribusi Perjalanan di Kota Manado", *Jurnal Ilmiah Media Engineering*, Vol. 1 No. 1 (hlm. 17-23), Universitas Sam Ratulangi. Manado.
- Syafi'i, Santoso, Mohamad Budi, dan Handayani, Dewi., 2018, "The Origin-Destination Matrix for Freight Transportation with Bayesian Inference Method.", *AIP Conference Proceedings*, Edition: 1977, art. No. 040018.
- Tamin, O.Z., 2000, "Perencanaan dan Pemodelan Transportasi". Bandung: Penerbit ITB Press.
- Tamin, O.Z., 2003, "Perencanaan dan Pemodelan Transportasi: Contoh Soal dan Aplikasi", Edisi: 2, ITB Press. Bandung.
- Tamin, O.Z. dan Suyuti, Rusmadi., 2007, "Kajian Peningkatan Akurasi Matriks Asal-Tujuan yang Dihasilkan dari Data Arus Lalulintas pada Kondisi Keseimbangan". *Journal of Mathematical and Fundamental Sciences*, Vol. 39A No. 1&2 (hlm. 23-39), Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Tamin, O.Z., 2008, "Perencanaan, Pemodelan, dan Rekayasa Transportasi", ITB Press. Bandung.