

**ANALISIS DISTRIBUSI PERJALANAN MENGGUNAKAN MODEL GRAVITASI
DUA BATASAN DENGAN OPTIMASI FUNGSI HAMBATAN
STUDI KASUS : KOTA SEMARANG DAN KOTA SURAKARTA**

Novianna Dwi Pramesti, Wahyu Laras Wulandari, Bambang Riyanto^{*)}, Kami Hari Basuki^{*)}

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof Soedarto, Tembalang, Semarang. 50239, Telp.: (024)7474770, Fax.: (024)7460060

ABSTRAK

Pola pergerakan di suatu wilayah disebabkan oleh adanya interaksi arus lalu lintas dalam melakukan aktifitas. Jika suatu wilayah memiliki kepadatan penduduk cukup besar, maka semakin besar pergerakan lalu lintas yang dihasilkan. Hal tersebut biasanya terjadi pada kota-kota yang sedang berkembang, seperti Kota Semarang dan Kota Surakarta. Untuk meminimalisir banyaknya permasalahan transportasi yang timbul akibat interaksi arus lalu lintas, maka diperlukan usaha-usaha perencanaan transportasi sedini mungkin. Penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui pola pergerakan dengan menggunakan Model Gravitasi dua batasan (bangkitan dan tarikan). Data yang dibutuhkan merupakan data sekunder, seperti jarak antar zona, waktu tempuh perjalanan, besarnya luas lahan di suatu zona dan usia produktif 15-59 tahun. Analisis regresi linear digunakan untuk mendapatkan Matriks Asal Tujuan. Dari analisis regresi linear dapat diketahui variable yang mempengaruhi pola pergerakan. Dapat disimpulkan hasil dari penelitian ini adalah Kota Surakarta lebih sensitif terhadap jarak dibandingkan dengan Kota Semarang. Oleh karena itu, dapat dikatakan bahwa Kota Surakarta lebih ramah lingkungan karena konsumsi BBM yang dibutuhkan oleh masyarakatnya tidak tinggi jika dibandingkan dengan masyarakat Kota Semarang.

kata kunci : *model gravitasi, pola pergerakan, nilai β model gravitasi, matriks asal tujuan, konsumsi BBM*

ABSTRACT

Movement patterns in the region are caused by the interaction of traffic flow in the activity pass. If a region has a large enough population density, the greater the movement of traffic generated. It usually occurs in cities that are growing, such as the city of Semarang and Surakarta. To minimize the number of transportation problems arising from the interaction of traffic flow, it is necessary transportation plans an efforts as early as possible. This study aimed to determine the pattern of movement by using two restriction Gravity Model (rise and pull). Required data is secondary data, such as the distance between the zones, travel time, the amount of land area in a zone and productive age among 15-59 years.

^{*)} Penulis Penanggung Jawab

Linear regression analysis is used to get the Origin Destination Matrix. From linear regression analysis can be known the variable that affects movement patterns. It can be concluded from the results of this study that Surakarta city are more sensitive in comparison to Semarang City in distance. Therefore, it can be said that the town of Surakarta is more environmentally friendly because fuel consumption needed by society is not high compared with the city of Semarang.

keywords: *gravity model, movement patterns, value of β from gravity model, origin destination matrix, fuel consumption*

PENDAHULUAN

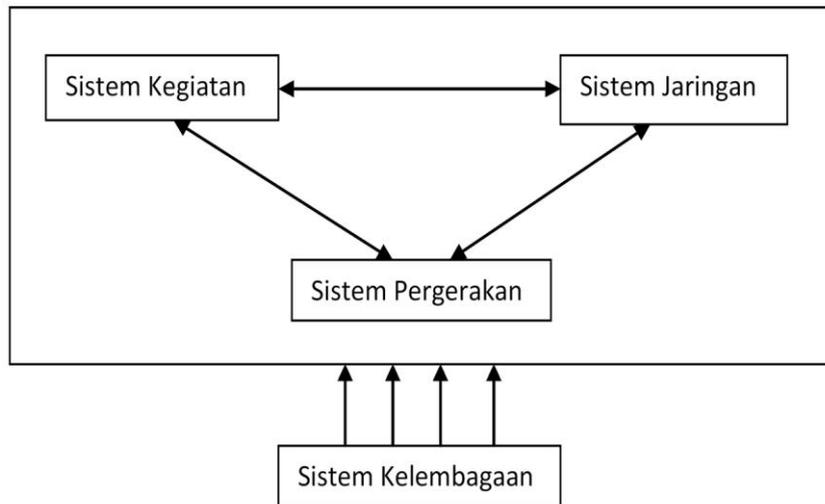
Jawa Tengah merupakan salah satu provinsi di Indonesia yang memiliki beberapa wilayah yang sedang berkembang. Wilayah yang sedang berkembang di Jawa Tengah antara lain adalah Kota Semarang dan Kota Surakarta. Tata guna lahan pada kedua wilayah tersebut banyak terdapat pusat-pusat kegiatan seperti perkantoran, pertokoan, pendidikan, dan perumahan. Pusat-pusat kegiatan ini menimbulkan interaksi bagi pergerakan arus lalu lintas dan pergerakan bagi manusia untuk melakukan aktivitas. Peningkatan pergerakan yang terjadi juga disebabkan oleh meningkatnya jumlah penduduk yang terjadi dalam beberapa tahun terakhir, seperti pada tahun 2009 jumlah penduduk untuk kota Semarang sebesar 1.506.924 jiwa dan kota Surakarta adalah sebesar 528.202 jiwa dengan kepadatan penduduk 4.032 jiwa/km² untuk kota Semarang dan 13.189 jiwa/km² untuk kota Surakarta. Semakin besar jumlah penduduk dan kegiatan yang dilakukan pada suatu wilayah/ kota maka akan berpengaruh pada bertambahnya jumlah moda transportasi yang digunakan dan pada akhirnya berdampak pada peningkatan konsumsi BBM/tahun.

Perencanaan sistem transportasi adalah suatu kegiatan yang bertujuan menyediakan layanan transportasi baik sarana maupun prasarananya yang disesuaikan dengan kebutuhan transportasi bagi masyarakat di suatu wilayah pada masa mendatang atau pada tahun rencana yang akan digunakan untuk berbagai kebijakan investasi perencanaan transportasi (Tamin, 2000). Sedangkan pemodelan transportasi adalah suatu model perilaku dasar interaksi antar komponen sistem transportasi dan model interaksi komponen sistem transportasi dengan waktu (Tamin, 2000). Sistem transportasi dapat mengurangi hambatan pergerakan dalam ruang, tetapi tidak mengurangi jarak. Jarak hanya bisa diatasi dengan memperbaiki/ mempersingkat waktu tempuh. Oleh karena itu, jumlah pergerakan lalu lintas antara dua buah tata guna lahan tergantung intensitas kedua tata guna lahan dan pemisahan ruang (jarak, waktu, dan biaya) antara kedua zonanya. Sehingga, arus lalu lintas antara dua buah tata guna lahan mempunyai korelasi positif dengan intensitas tata guna lahan dan korelasi negatif dengan jarak.

Seperti yang diketahui, pergerakan lalu lintas timbul karena adanya proses pemenuhan kebutuhan. Setiap tata guna lahan atau sistem kegiatan mempunyai jenis kegiatan tertentu yang akan membangkitkan pergerakan dan akan menarik pergerakan dalam proses pemenuhan kebutuhan. Sistem jaringan merupakan media (prasarana) transportasi yang diperlukan untuk menunjang moda transportasi (sarana) dalam suatu proses pergerakan manusia dan/atau barang yang meliputi sistem jaringan jalan raya, kereta api, terminal bus dan kereta api, bandara dan pelabuhan laut. Selain itu, moda transportasi juga harus

didukung dengan adanya Bahan Bakar Minyak (BBM). Sistem pergerakan yang aman, cepat, nyaman, murah, handal dan sesuai dengan lingkungannya dapat tercipta jika pergerakan tersebut diatur oleh sistem rekayasa dan manajemen lalu lintas yang baik.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai β model gravitasi sebagai indikator sensitivitas perjalanan penduduk, mengidentifikasi guna lahan zona bangkitan dan tarikan pergerakan berdasarkan Matriks Asal Tujuan dan guna lahan eksisting, dan membandingkan Matriks Asal Tujuan antara Kota Semarang dengan Kota Surakarta, sehingga dapat mengetahui besarnya pergerakan yang terjadi pada kedua kota tersebut.



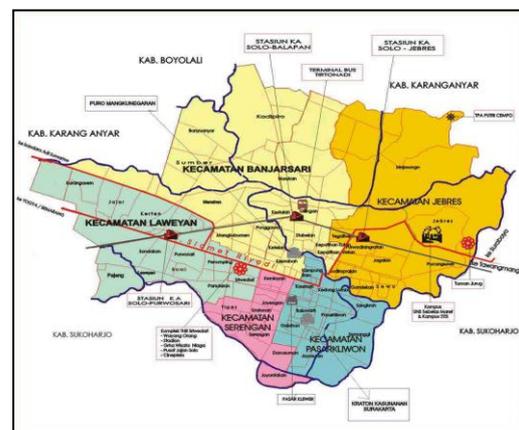
Sumber : pendekatan perencanaan transportasi kota

Gambar 1. Sistem Transportasi

Pada penelitian ini data yang digunakan adalah data sekunder yang meliputi peta Kota Semarang dan Kota Surakarta, jumlah penduduk produktif usia 15-59 tahun, kepadatan penduduk, luas wilayah yang dimanfaatkan sebagai perdagangan, jasa dan industri, konsumsi BBM untuk masing-masing kota, jarak antar kecamatan, dan waktu tempuh perjalanan. Setelah mendapatkan data sekunder kemudian dilakukan pengolahan data yang dilanjutkan dengan analisis data.



Gambar 2. Peta Kota Semarang



Gambar 3. Peta Kota Surakarta

Tata Guna Lahan

Tata guna lahan merupakan salah satu penentu utama pergerakan dan aktivitas manusia. Tata guna lahan yang baik memberikan pengaruh yang kecil terhadap konsumsi BBM. Berdasarkan kenyataan empiris membuktikan bahwa pola tata guna lahan memiliki korelasi yang kuat dengan transportasi kota karena tata guna lahan menentukan besaran dan distribusi pergerakan yang berpengaruh terhadap gerak perjalanan, moda angkutan yang digunakan dan konsumsi BBM (Handajani, 2009). Dalam penelitian ini tata guna lahan digunakan sebagai acuan untuk menentukan besarnya atraksi atau tarikan pergerakan yang terjadi di suatu wilayah.

Tata Guna Lahan Kota Semarang dan Kota Surakarta

Penggunaan lahan di Kota Semarang dapat dibedakan menjadi penggunaan lahan untuk tanah sawah dan tanah kering. Tanah sawah meliputi sawah irigasi teknik, sawah irigasi setengah teknik, sawah irigasi sederhana dan sawah tadah hujan. Sedangkan tanah kering meliputi tanah pekarangan/ tanah untuk bangunan dan halaman sekitar, tegal/ kebun/ ladang dan tanah pengembalaan. Penggunaan lahan di Kota Surakarta dibedakan menjadi perumahan/ pemukiman, jasa, perdagangan, insustri, tanah kosong dan tegalan. Dalam penelitian ini besarnya atraksi (O_i) ditentukan berdasarkan besarnya luas tanah kering yang dimanfaatkan untuk tanah pekarangan/ tanah untuk bangunan dan halaman sekitar pada masing – masing zona.

Jumlah Penduduk Berdasarkan Kelompok Usia Kota Semarang dan Kota Surakarta

Pergerakan yang terjadi di suatu wilayah dipengaruhi pula oleh banyaknya masyarakat yang melakukan pergerakan dari suatu wilayah ke wilayah lain untuk memenuhi kebutuhan aktivitasnya. Dalam penelitian ini besarnya nilai bangkitan (P_j) digunakan jumlah penduduk berusia 15 – 59 tahun yang dianggap masih dalam usia produktif untuk melakukan pergerakan.

Sistem Zona

Dalam analisis perencanaan transportasi, biasanya dilakukan proses simplifikasi wilayah studi dengan merepresentasikan ke dalam zona-zona yang merupakan satuan spasial terkecil. Sehingga pergerakan yang terjadi diasumsikan sebagai pergerakan antara zona-zona tersebut. Untuk kota Semarang pembagian zona yang digunakan sesuai dengan batas wilayah, yaitu pembagian zona sesuai kecamatan pada kota Semarang. Pembagian zona Kota Semarang dapat dilihat pada Tabel 1.

Sedangkan untuk pembagian zona di Kota Surakarta, diambil berdasarkan sistem administrasi sebagai dasar pembagian zona. Hal tersebut dilakukan karena adanya keterbatasan data dalam penyederhanaan pembagian sistem zona. Pembagian zona Kota Surakarta dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 1. Pembagian Zona Kota Semarang

Zona	Kecamatan
1	Mijen
2	Gunung Pati
3	Banyumanik
4	Gajah Mungkur
5	Semarang Selatan
6	Candisari
7	Tembalang
8	Pedurungan
9	Genuk
10	Ganyamsari
11	Semarang Timur
12	Semarang Utara
13	Semarang Tengah
14	Semarang Barat
15	Tugu
16	Ngaliyan

Tabel 2. Pembagian Zona Kota Surakarta

Zona	Kelurahan	Kecamatan	Zona	Kelurahan	Kecamatan	Zona	Kelurahan	Kecamatan
1	Pasar Kliwon	Pasar Kliwon	8	Kepatihan Kulon	Jebres	17	Pajang	Laweyan
	Gajahan	Pasar Kliwon		Stabelan	Banjarsari		Kerten	Laweyan
	Baluwarti	Pasar Kliwon		Kestalan	Banjarsari		Jajar	Laweyan
2	Panularan	Laweyan	9	Tegalharjo	Jebres		Karangasem	Laweyan
	Tipes	Serengan		Kepatihan Wetan	Jebres	18	Sumber	Banjarsari
	Kraton	Serengan		Sudiroprajan	Jebres		Banyuanyar	Banjarsari
	Jayengan	Serengan		Gandekan	Jebres	19	Kadipiro	Banjarsari
3	Kampung Baru	Pasar Kliwon		Jagalan	Jebres	20	Mojosongo	Jebres
	Kedunglumbu	Pasar Kliwon	Purwodiningratan	Jebres	21	Jebres	Jebres	
	Sangkrah	Pasar Kliwon	10	Sewu		Jebres		
	Kauaman	Pasar Kliwon		Pucangsawit	Jebres			
4	Joyosuran	Pasar Kliwon	11	Pajang	Laweyan			
	Semanggi	Pasar Kliwon		Laweyan	Laweyan			
5	Joyotakan	Serengan		Bumi	Laweyan			
	Danukusuman	Serengan		Sondakan	Laweyan			
	Serengan	Serengan	12	Purwosari	Laweyan			
6	Penumping	Laweyan		Mangkubumen	Banjarsari			
	Sriwedari	Laweyan	13	Gilingan	Banjarsari			
	Kemlayan	Serengan		14	Tegalharjo	Jebres		
7	Penumping	Laweyan	Jebres		Jebres			
	Sriwedari	Laweyan	15	Mangkubumen	Banjarsari			
	Timuran	Banjarsari		Manahan	Banjarsari			
	Ketelan	Banjarsari	16	Nusukan	Banjarsari			
	Keprabon	Banjarsari						
Punggawan	Banjarsari							

Jarak dan Waktu Tempuh

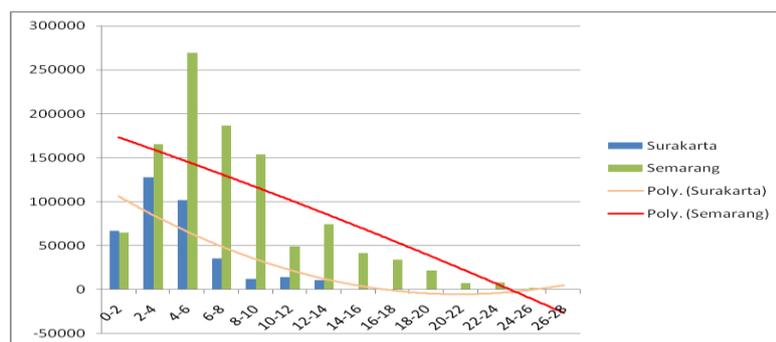
Jarak dalam penelitian ini merupakan jarak antara zona i ke zona j yang kemudian digunakan untuk mendapatkan waktu tempuh yang dibutuhkan untuk melakukan pergerakan dari zona i ke zona j tersebut. Besarnya waktu merupakan suatu faktor hambatan yang kemudian akan digunakan untuk mendapatkan bentuk umum fungsi hambatan $\{f(D_{ij})\}$ yang menghasilkan nilai β sebagai asumsi awal perhitungan matrix yang akan dilakukan. Besarnya jarak diperoleh dengan menggunakan *Google Map*. Terlebih dahulu menentukan titik pusat antar kecamatan kemudian dari *Google Map* tersebut akan menunjukkan jarak terdekat. Hasil dari pencarian tersebut mendapatkan jarak antar kecamatan, sedangkan waktu tempuh perjalanan didapatkan dengan mengasumsikan kecepatan kendaraan terlebih dahulu. Pada penelitian ini diasumsikan menggunakan kecepatan sebesar 30 km/jam. Kemudian dari data kecepatan dan jarak akan menghasilkan waktu tempuh. Untuk mendapatkan besarnya jarak di dalam zona itu sendiri (pergerakan *interzone*) dimulai dengan mengasumsikan luasan zona sebagai luas lingkaran. Dari hasil luasan tersebut didapatkan nilai r yang nantinya akan digunakan sebagai nilai jarak.

Tabel 3. Sebaran Panjang Pergerakan Semarang

No	Interval	Frekuensi
1	0-2	64696
2	2-4	165172
3	4-6	269540
4	6-8	186817
5	8-10	153564
6	10-12	49128
7	12-14	74392
8	14-16	41344
9	16-18	33799
10	18-20	21884
11	20-22	7477
12	22-24	8364
13	24-26	1809
14	26-28	410

Tabel 4. Sebaran Panjang Pergerakan di Kota di Kota Surakarta

No	Interval	Frekuensi
1	0-2	66739
2	2-4	127502
3	4-6	101730
4	6-8	35758
5	8-10	12424
6	10-12	14036
7	12-14	11087
8	14-16	0
9	16-18	0
10	18-20	0
11	20-22	0
12	22-24	0
13	24-26	0
14	26-28	0



Gambar 4. Grafik Gabungan Sebaran Panjang Pergerakan Antara Kota Semarang dan Kota Surakarta

Perubahan pola pergerakan di suatu wilayah dapat disebabkan oleh sebaran penduduk yang tidak merata, penggunaan lahan dan pertumbuhan penduduk. Di bawah ini akan dijabarkan penyebab perubahan pola pergerakan dari karakteristik Kota Semarang dan Kota Surakarta.

Kota Semarang

Berdasarkan sebaran penduduk di Kota Semarang dengan luas Kota Semarang yang cukup besar mengakibatkan sebaran penduduknya cenderung menyebar. Kota Semarang memiliki struktur kota yang berpola inti ganda (*multiple nuclei*), perkembangan sub-sub pusatnya tidak merata dan masih menunjukkan ketergantungan dengan pusat kota. Berdasarkan penggunaan lahan di pusat kota, pada Kota Semarang hampir sebagian besar hanya dimanfaatkan untuk bidang perekonomian seperti perdagangan, jasa, perindustrian dan perkantoran. Sedangkan jika dilihat dari pertumbuhan penduduk di Kota Semarang pada tiga tahun terakhir, jumlah penduduk di Kota Semarang mengalami peningkatan sehingga mengakibatkan pergerakan perjalanan yang terjadi juga bertambah. Sedangkan pertumbuhan penduduk di pusat kota cenderung negatif karena masyarakat Kota Semarang cenderung lebih memilih untuk bertempat tinggal di pinggiran kota.

Kota Surakarta

Berdasarkan sebaran penduduk di Kota Surakarta dengan luas Kota Surakarta yang tidak terlalu besar, maka sebaran penduduknya cenderung merata. Struktur Kota Surakarta memiliki pola konsentris yang berkembang dengan pusat-pusat aktifitas telah keluar dari pusat kota yang menyebar ke segala arah mengikuti pola *gradual/grid*, pergerakannya cukup merata. Hal ini disebabkan kebutuhan masyarakat Kota Surakarta dapat terpenuhi tanpa harus ke wilayah pusat kota. Kota Surakarta banyak yang bertempat tinggal di pusat Kota Surakarta. Hal ini menyebabkan pergerakan yang dilakukan masyarakat Surakarta untuk memenuhi aktivitasnya cenderung lebih pendek. Sedangkan jika dilihat dari pertumbuhan penduduk pada tiga tahun terakhir, maka dapat dikatakan bahwa pertumbuhan penduduk pada Kota Surakarta mengalami pertumbuhan yang tidak terlalu pesat. Sehingga pertumbuhan penduduk tidak terlalu berpengaruh terhadap pergerakan yang terjadi.

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Dalam proses penaksiran nilai parameter β atau proses kalibrasi model dibutuhkan Matriks Asal Tujuan yang telah diekspansi berdasarkan populasi (diasumsikan sejumlah usia produktif pada masing – masing kota) dari Matriks Asal Tujuan sebelumnya. MAT tersebut kemudian digunakan sebagai nilai pergerakan dari zona asal i ke zona tujuan j yang dihasilkan oleh model.

Fungsi Hambatan

Fungsi hambatan atau hambatan transportasi biasanya direpresentasikan dalam bentuk umum jarak, waktu dan biaya yang diasumsikan sebagai rute terpendek, tercepat, atau termurah, dari zona asal i ke zona tujuan j dengan terdapat beberapa kemungkinan rute yang ada. Dalam penelitian ini digunakan waktu tercepat antar zona yang didapatkan *Google Map* yang setelah itu dijadikan dalam bentuk Matriks *Deterance*. Waktu tersebut digunakan sebagai parameter fungsi hambatan (D_{ij}).

Tabel 5. Matriks Asal Tujuan di Kota Semarang Pada Tahun 2009

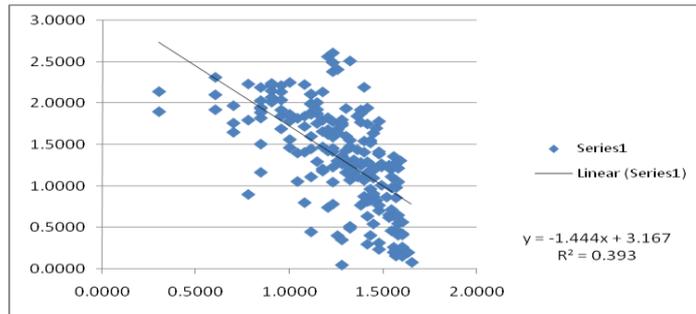
Asal/ Tujuan	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	Total Asal
1	0	2902	854	751	205	683	239	239	34	137	239	649	376	2185	1400	11369	22260
2	2048	0	6999	6623	1844	6828	2492	2800	307	990	1878	2936	2595	6657	717	2663	48377
3	546	6453	0	4882	1809	9013	15910	8091	615	1331	2014	1946	1912	2731	171	615	58039
4	444	5804	4609	0	3585	12052	2697	5428	751	2151	4438	5701	5565	8774	478	1331	63809
5	137	1844	1946	4063	0	11164	2287	8228	1263	3994	6726	7135	7647	5497	239	512	62682
6	410	5736	8228	11574	9389	0	9559	19187	2185	6282	10549	10140	9867	10515	410	1058	115088
7	137	1980	13622	2424	1809	8945	0	14476	922	1605	2219	1741	1878	1502	68	239	53567
8	102	1639	5121	3619	4814	13383	10754	0	8057	10481	11881	7716	6794	4029	171	341	88902
9	34	273	546	683	1024	2117	956	11130	0	3619	5019	4370	1946	1536	68	102	33424
10	68	819	1195	2048	3277	6145	1673	14749	3721	0	12017	7818	5121	3346	137	239	62375
11	137	1536	1809	4165	5531	10379	2322	16763	5121	12017	0	15978	11574	7545	341	580	95799
12	410	2595	1878	5770	6282	10652	1980	11642	4780	8364	17104	0	17685	30761	1229	1912	123043
13	239	2117	1707	5224	6282	9662	1980	9559	1980	5087	11540	16422	0	11505	478	854	84635
14	1366	5804	2561	8740	4814	10925	1639	6009	1673	3516	7989	30351	12222	0	4575	6999	109182
15	819	615	171	444	205	444	102	273	68	137	341	1195	478	4438	0	7033	16763
16	8945	2970	717	1673	580	1434	341	649	137	341	785	2424	1195	8979	9286	0	40457
Total Tujuan	15841	43085	51962	62682	51450	113825	54932	129222	31614	60033	94740	116522	86854	110001	19767	35848	1078399

Tabel 6. Matriks Asal Tujuan di Kota Surakarta Pada Tahun 2009

Asal/ Tujuan	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	Total Asal (O _i)
1	2123	1042	786	1455	668	1081	2005	1160	668	1042	1258	334	1356	374	1671	826	1376	1297	1160	216	550	22449
2	1022	511	374	708	315	1003	1533	550	315	491	1179	295	649	177	924	531	491	826	649	138	256	12935
3	1553	747	1101	98	98	786	1435	865	924	1455	904	413	885	531	1219	590	1003	944	2634	275	786	19245
4	1337	708	177	1022	865	1396	315	177	138	216	1632	413	197	79	334	138	216	236	354	39	197	10183
5	1179	590	157	865	727	1179	1140	649	118	197	1376	354	727	59	1003	452	668	786	354	39	157	12778
6	1612	1238	865	1769	806	1179	1887	1219	708	1101	1396	374	1455	590	1121	629	590	963	845	570	904	21820
7	1789	826	649	944	550	904	1455	963	550	845	1258	295	1140	786	1238	668	1160	1042	963	472	1160	19658
8	1140	550	845	118	118	590	963	629	668	1101	354	197	747	629	826	432	747	511	688	315	944	13112
9	1297	590	944	118	98	668	1179	668	786	1199	491	236	570	452	1003	354	963	393	1691	216	1081	14999
10	1494	708	1081	138	118	747	1396	845	885	1121	570	295	885	983	1179	531	1121	629	1671	609	1789	18793
11	1435	1376	747	1887	904	1435	1671	767	609	983	1750	1160	865	767	1337	531	1140	1140	1317	275	1101	23196
12	885	374	334	452	256	649	727	452	275	432	1179	767	531	432	924	315	767	747	452	157	649	11755
13	1337	649	826	79	98	708	1140	727	570	983	570	374	904	747	826	531	1710	629	786	393	1101	15687
14	1474	767	1081	118	98	295	747	629	885	2202	334	157	531	629	531	295	1081	374	1769	315	924	15235
15	2084	708	767	806	472	1101	1710	826	865	1376	1356	904	924	786	1081	550	1022	904	1573	570	1160	21545
16	727	354	550	118	79	550	590	413	295	531	334	197	491	374	452	688	806	727	924	374	570	10144
17	2379	688	885	845	491	983	1828	1337	1022	1592	1121	747	8256	1278	1848	1415	727	688	1022	354	1985	31492
18	1376	668	511	138	413	1042	1101	550	432	727	1297	845	649	531	1003	708	590	747	1238	452	826	15844
19	1062	472	3067	275	236	747	845	904	2103	2536	2044	315	688	2752	1789	944	786	1121	1219	432	2870	27207
20	865	197	609	59	59	216	491	334	511	432	256	79	413	354	649	354	295	393	432	1140	511	8650
21	2418	1140	1809	334	295	472	1101	924	2575	1199	491	236	1022	944	944	629	2064	708	1396	472	1376	22548
Total Tujuan	30588	14901	18164	12345	7765	17731	25260	15589	15903	21761	21152	8984	23884	14252	21899	12109	19324	15805	23137	7824	20896	369275

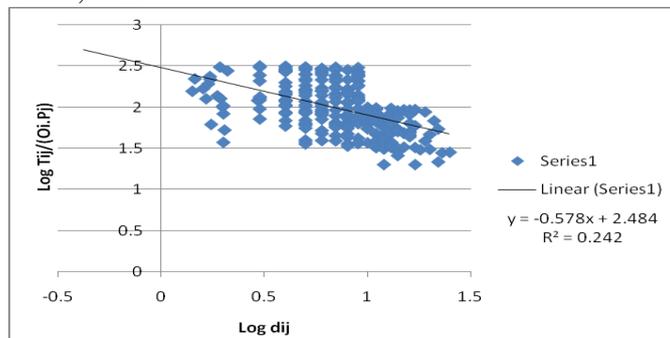
Penelitian ini menggunakan dua jenis fungsi hambatan, yaitu fungsi pangkat dan fungsi eksponensial-negatif. Dari persamaan fungsi pangkat dapat dilakukan penyederhanaan seperti di bawah ini.

$$\text{Log} \frac{T_{ij}}{O_i \cdot P_j} = \text{Log} \alpha - \beta \text{Log} d_{ij}$$



Gambar 5. Grafik Log D_{ij} dengan Log $T_{ij}/(O_i.P_j)$
Hasil Perhitungan Fungsi Pangkat di Kota Semarang

Dari grafik di atas dapat dilihat nilai persamaan linear yang didapat untuk Kota Semarang adalah $Y = -1,444X + 3,167$ dengan nilai $R^2 = 0,393$. Nilai β yang didapat sebesar -1,444 dengan nilai α sebesar 3,167.



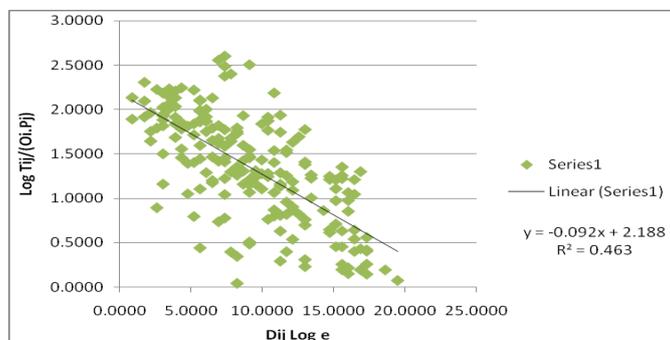
Gambar 6. Grafik Log D_{ij} dengan Log $T_{ij}/(O_i.P_j)$
Hasil Perhitungan Fungsi Pangkat di Kota Surakarta

Dari grafik di atas dapat dilihat nilai persamaan linear yang didapat untuk Kota Surakarta adalah $Y = -0,578X + 2,484$ dengan nilai $R^2 = 0,242$. Nilai β yang didapat sebesar -0,578 dengan nilai α sebesar 2,484.

Fungsi eksponensial-negatif dapat dinyatakan dalam persamaan umum sebagai berikut

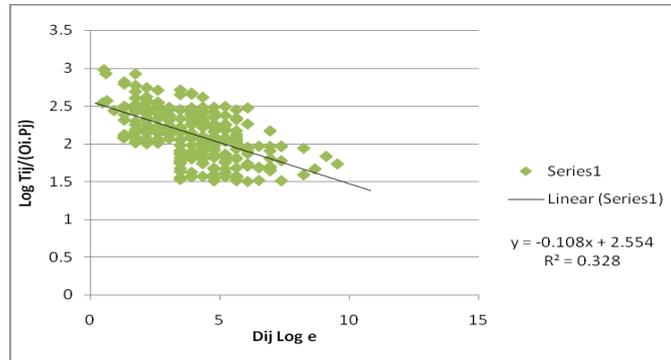
$$T_{ij} = A_i \cdot O_i \cdot B_j \cdot P_j \cdot e^{-\beta \cdot dij}$$

Dari persamaan umum di atas dapat dilakukan penyederhanaan seperti pada persamaan di bawah ini.



Gambar 7. Grafik $D_{ij} \text{ Log } e$ dengan Log $T_{ij}/(O_i.P_j)$
Hasil Perhitungan Fungsi Eksponensial-Negatif di Kota Semarang

Dari grafik di atas dapat dilihat nilai persamaan linear yang didapat untuk Kota Semarang adalah $Y = -0,092X + 2,188$ dengan nilai $R^2 = 0,463$. Nilai β yang didapat sebesar $-0,092$ dengan nilai α sebesar $2,188$.



Gambar 8. Grafik Dij Log e dengan Log Tij/(Oi.Pj)
Hasil Perhitungan Fungsi Eksponensial-Negatif di Kota Semarang

Dari grafik di atas dapat dilihat nilai persamaan linear yang didapat untuk Kota Surakarta adalah $Y = -0,108X + 2,554$ dengan nilai $R^2 = 0,328$. Nilai β yang didapat sebesar $-0,108$ dengan nilai α sebesar $2,554$. Dari hasil perhitungan di atas, nilai β yang digunakan dilihat dari nilai R yang lebih besar dari dua fungsi tersebut. Dalam perhitungan ini, diambil nilai β dari fungsi eksponensial-negatif karena nilai R^2 yang dihasilkan untuk Kota Semarang sebesar $0,463$ dan untuk Kota Surakarta sebesar $0,328$. Nilai β tersebut kemudian digunakan sebagai nilai β awal dalam perhitungan Matriks Asal Tujuan.

Dalam penelitian ini untuk perhitungan Matriks Asal Tujuan digunakan dua batasan, yaitu Batasan Bangkitan dan Batasan Tarikan (DCGR). Dalam model ini, bangkitan dan tarikan pergerakan harus selalu sama dengan yang dihasilkan oleh tahap bangkitan pergerakan.

$$B_j = \frac{1}{\sum_i (A_i O_i f_{ij})} \text{ untuk semua } j \quad A_i = \frac{1}{\sum_j (B_j D_j f_{ij})} \text{ untuk semua } i$$

Batasan ini digunakan untuk mendapatkan nilai A_i dan B_j yang kemudian digunakan sebagai faktor penyeimbang untuk mengisi sel Matriks Asal Tujuan tersebut.

Dalam perhitungan Matriks Asal Tujuan di Kota Semarang dilakukan pengulangan mencari nilai A_i dan B_j sebanyak tiga kali dan untuk Kota Surakarta sebanyak dua kali. Pengulangan ini dilakukan sampai nilai A_i dan B_j tidak mengalami perubahan atau telah mencapai konvergensi. Setelah itu dapat dilakukan perhitungan untuk mengisi sel Matriks Asal Tujuan dengan menggunakan persamaan berikut.

$$T_{ij} = A_i \cdot B_j \cdot O_i \cdot P_j \cdot f(D_{ij})$$

Nilai $f(D_{ij})$ didapatkan dari nilai Matriks *Deterrence* antar zona yang dihitung dengan persamaan fungsi hambatan eksponensial-negatif dengan nilai β Semarang = $-0,092$ dan nilai β Surakarta = $-0,108$.

$$f(C_{ij}) = e^{-\beta C_{ij}}$$

Hasil perhitungan Matriks Asal Tujuan akhir hasil pemodelan DCGR dapat dilihat pada Tabel 7. dan Tabel 8.

Tabel 7. MAT Akhir Hasil DCGR Kota Semarang (setelah pengulangan ke-3)

Asal/ Tujuan	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	oi	Oi	Ei	Ai
1	126	107	14	8	7	5	11	4	4	3	3	6	5	14	24	143	486	486	1.000	0.001246
2	103	117	32	14	8	9	25	7	6	5	4	5	7	18	17	54	433	433	1.000	0.001309
3	19	46	104	20	11	27	50	19	13	15	11	9	9	10	7	10	381	381	1.000	0.001287
4	5	9	18	28	18	21	22	13	12	14	10	13	17	19	15	8	242	242	1.000	0.000737
5	5	6	9	20	20	13	11	13	15	13	12	15	23	19	15	7	215	215	1.000	0.000625
6	2	7	19	17	13	33	24	28	20	24	18	15	12	11	8	4	254	254	1.000	0.000698
7	7	18	63	20	12	29	108	30	14	16	12	10	10	10	8	7	373	373	1.000	0.001177
8	2	4	13	11	13	22	31	75	32	45	28	25	12	10	6	4	334	334	1.000	0.000916
9	5	4	7	12	16	14	9	28	69	29	32	45	19	11	16	4	320	320	1.000	0.000893
10	2	4	12	10	13	24	13	38	34	45	30	24	13	10	7	3	282	282	1.000	0.000728
11	3	4	7	11	15	16	9	26	52	29	35	41	19	11	9	4	290	290	1.000	0.000752
12	3	4	7	14	22	14	9	22	33	27	29	42	23	14	13	5	281	281	1.000	0.000779
13	5	6	9	18	25	12	11	13	22	14	18	19	25	19	15	6	235	235	1.000	0.000668
14	11	14	9	20	23	12	11	11	13	10	11	11	19	27	33	15	250	250	1.000	0.000773
15	25	11	9	17	18	11	11	9	11	9	11	14	16	38	160	37	406	406	1.000	0.001358
16	125	49	6	10	8	7	7	5	5	4	4	5	24	19	36	115	429	429	1.000	0.001111
dj	449	407	338	250	241	267	363	341	333	302	271	299	253	259	390	427	5210			
Dj	459	416	348	250	233	269	375	337	343	298	263	291	242	255	396	436		5210		
Ej	1.022	1.023	1.028	1.001	0.967	1.008	1.030	0.988	0.970	0.985	0.973	0.973	0.954	0.985	1.017	1.022			1	
Bj	0.99618	1.06657	1.03378	0.86522	0.80455	0.89247	1.30771	1.16057	1.20416	0.94441	0.80671	0.93705	0.83643	0.88174	1.31759	1.04994				

Tabel 8. MAT Akhir Hasil DCGR Kota Surakarta (setelah pengulangan ke-2)

Asal/ Tujuan	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	oi	Oi	Ei	Ai
1	21	13	15	13	15	9	9	7	9	10	9	7	5	6	4	5	6	5	6	7	8	200	193	0.935	0.00063
2	19	20	12	16	13	13	9	6	6	8	14	9	6	4	4	5	7	5	4	6	6	196	195	0.935	0.00060
3	14	9	13	12	9	7	7	7	8	9	6	6	4	6	4	5	5	4	6	7	8	158	160	1.008	0.00054
4	18	17	14	27	13	10	9	7	9	13	10	7	4	6	4	5	6	5	6	8	9	211	210	0.936	0.00066
5	15	15	10	11	16	10	10	5	5	7	8	9	6	4	4	4	7	5	5	6	5	166	167	1.001	0.00055
6	12	13	9	10	12	17	11	6	6	7	17	10	8	4	6	6	10	7	4	5	6	185	185	1.004	0.00061
7	11	10	9	9	10	9	10	7	7	8	8	7	5	5	4	5	7	5	5	6	7	155	157	1.011	0.00055
8	6	6	6	7	6	6	7	11	8	8	7	6	8	6	6	8	7	7	7	8	9	149	152	1.022	0.00054
9	7	5	8	9	6	5	5	7	12	10	5	4	6	8	6	7	7	6	10	10	12	156	159	1.013	0.00055
10	11	8	12	16	9	6	7	8	14	20	5	5	6	8	6	7	6	6	8	11	15	193	196	1.012	0.00064
11	13	17	8	11	13	15	9	6	5	5	20	13	11	4	8	7	15	11	6	5	6	221	220	0.936	0.00071
12	9	12	7	8	9	14	9	6	5	6	17	13	10	5	7	7	12	10	5	6	6	182	183	1.008	0.00061
13	7	5	5	5	6	6	6	8	7	7	8	7	16	6	12	11	11	12	8	8	9	169	173	1.023	0.00058
14	6	6	7	7	6	5	5	8	10	9	5	4	6	7	6	8	7	6	9	11	12	152	154	1.016	0.00054
15	5	5	5	5	5	6	6	8	6	6	8	6	16	5	10	11	14	12	8	8	8	163	165	1.015	0.00055
16	6	5	6	6	6	5	7	8	8	8	7	5	11	7	11	17	13	14	16	9	10	185	183	1.020	0.00062
17	8	10	7	7	8	12	10	9	8	19	13	20	7	16	16	143	21	15	9	11		385	390	0.908	0.00076
18	5	6	5	5	5	7	6	7	7	6	13	9	15	6	12	15	19	19	16	9	7	139	201	1.011	0.00064
19	5	5	6	6	5	5	6	9	8	8	7	5	8	7	8	17	13	14	13	11	10	175	178	1.017	0.00053
20	8	6	9	8	7	6	7	9	11	11	7	5	9	9	9	12	10	11	14	18	15	201	205	1.020	0.00063
21	9	7	9	11	8	7	7	10	14	17	6	6	9	12	8	11	9	8	11	16	32	227	230	1.014	0.00076
dj	221	201	183	216	200	180	162	159	175	190	216	154	188	133	156	187	338	194	182	183	210	4027			
Dj	221	201	183	216	200	180	162	159	175	190	216	154	188	133	156	187	338	194	182	183	210		4027		
Ej	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000			1	
Bj	1.12840	1.02113	0.97861	1.10257	1.02969	0.94567	0.91103	0.83863	0.95637	1.00026	1.08479	0.84388	0.96461	0.77129	0.82837	0.95945	1.44249	0.97148	0.93470	0.97894	1.08148				

KESIMPULAN

Dari hasil analisis nilai β dari Model Gravitasi untuk Kota Semarang dan Kota Surakarta didapatkan nilai β di Kota Semarang lebih kecil daripada di Kota Surakarta. Hal ini membuktikan bahwa pelaku perjalanan Kota Semarang tidak sensitif terhadap jarak jika dibandingkan dengan pelaku perjalanan Kota Surakarta. Sehingga Kota Semarang

mengonsumsi BBM lebih tinggi jika dibandingkan Kota Surakarta karena jarak yang harus ditempuh oleh pelaku perjalanan di Kota Semarang lebih jauh. Dengan kata lain, struktur Kota Surakarta menghasilkan pergerakan yang lebih pendek, lebih hemat energi atau lebih ramah lingkungan.

Kota Semarang berkembang sebagai kota pemerintahan, perdagangan, jasa, pendidikan dan industri, dimana pemukiman cenderung menyebar dan berkembang ke daerah pinggir kota. Sedangkan pemukiman di Kota Surakarta cenderung berada tidak terpisah dengan aktivitas masyarakatnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Basuki, Kami Hari, dkk. 2004. *Buku Ajar Statistika Dan Probabilitas*. Semarang: Fakultas Teknik – Sipil Universitas Diponegoro.
- BPS. 2009. *Semarang Dalam Angka*. Badan Pusat Statistik Kota Semarang.
- BPS. 2009. *Kecamatan Banjarsari Dalam Angka*. Badan Pusat Statistik Kota Surakarta.
- BPS. 2009. *Kecamatan Jebres Dalam Angka*. Badan Pusat Statistik Kota Surakarta.
- BPS. 2009. *Kecamatan Laweyan Dalam Angka*. Badan Pusat Statistik Kota Surakarta.
- BPS. 2009. *Kecamatan Pasar Kliwon Dalam Angka*. Badan Pusat Statistik Kota Surakarta.
- BPS. 2009. *Kecamatan Serengan Dalam Angka*. Badan Pusat Statistik Kota Surakarta.
- Handajani, Mudjiastuti. 2011. *Model Pengaruh Sistem Transportasi Kota Di Jawa Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Minyak (BBM)*. Semarang: Doktor Teknik Sipil Universitas Diponegoro.
- Kasenda, Cindy Kartini. 2002. *Karakteristik Tarikan Pergerakan Ke Kampus UNDIP Tembalang Semarang*. Semarang: Magister Teknik Sipil Universitas Diponegoro.
- Kumara, Denny. 2005. *Analisis Karakteristik Bangkitan dan Pola Perjalanan Penduduk Perumahan Pinggiran Kota (Studi Kasus Perumahan Bumi Pucang Gading Demak)*. Semarang: Magister Teknik Sipil Undiversitas Diponegoro.
- Saxena, Surhash C. 1989. *A Course in Traffic Planning and Design*. Delhi: O.P Kapur for Dhanpat Rai & Sons.
- Tamin, Z. Ofyar. 2000. *Perencanaan & Pemodelan Transportasi*. Bandung: ITB Bandung.
- Tamin, Z. Ofyar. 2003. *Perencanaan & Pemodelan Transportasi Contoh Soal dan Aplikasi*. Bandung: ITB Bandung.
- Willumsen and Ortuzar. 1990. *Modelling Transport*. Great Britain: British Library Cataloguing.