

# MODEL DISTRIBUSI PERJALANAN PENDUDUK UNTUK PENENTUAN KORIDOR 'LRT' DI PULAU BATAM

Djoko Prijo Utomo

Gedung 2 BPPT Lantai 10, Pusat Teknologi Industri dan Sistem Transportasi  
Badan Pengkajian dan Penerapan teknologi  
E-mail: djokoprijo@yahoo.com

## Abstract

*In consequence of the increasing of regional economic activities in Pulau Batam, a reliable transportation system is required. Decreasing road network performance as a result of increasing traffic volume needs a strategic planning to anticipate the worsening condition in the future. One of the solutions is by providing mass transit system which is expected to attract private car users. Therefore, determination of potential corridor of mass transit system need to be identified so that the system provide better accessibility. Trip pattern in Pulau Batam must be known by developing trip distribution model. The trip distribution model is calibrated using origin-destination (O-D) data that is based on home interview survey. The validated model will be used to forecast and simulate travel demand onto transport network. Result of model calibration process shows mean trip length difference between model and survey is equal 0.141 %. From simulation of trip assignment is obtained that potential corridor for mass transit system using LRT is Batu Ampar – Batu Aji via Muka Kuning. Passenger forecast in the year 2030 is 193,990 passenger/day (2 directions).*

**Kata kunci:** model trip distribusi, angkutan umum masal

## 1. PENDAHULUAN

Pulau Batam merupakan salah satu kawasan industri di Indonesia yang mempunyai posisi yang sangat strategis karena merupakan pintu gerbang Indonesia dari negara-negara tetangga seperti Malaysia dan Singapura. Sebagaimana layaknya suatu kawasan industri, maka aktifitas ekonomi di wilayah tersebut mengakibatkan tingginya pergerakan barang maupun penumpang. Tingginya aktifitas ekonomi di wilayah ini sangat membutuhkan penyediaan jaringan transportasi yang mendukung kelancaran pergerakan penduduk.

Peningkatan volume kendaraan pada sistem jaringan jalan yang mengakibatkan menurunnya tingkat pelayanan jalan akan merugikan perkembangan ekonomi daerah. Untuk mengantisipasi makin menurunnya tingkat pelayanan jalan yang berdampak pada penurunan daya saing ekonomi perlu diusulkan rencana pengembangan sistem transportasi di Pulau Batam yang dapat menekan peningkatan volume kendaraan dengan mempromosikan sistem angkutan umum masal yang mampu menarik pengguna kendaraan pribadi untuk berpindah ke

angkutan umum masal *Light Rail Transit* (LRT). Untuk itu diperlukan pemahaman tentang pola perjalanan penduduk untuk mengetahui interaksi antar kawasan (zona) dan besarnya potensi permintaan antar kawasan. Koridor potensial untuk angkutan umum masal di Pulau Batam diperoleh dari garis keinginan (*desired lines*) pengguna angkutan umum dan sebagian dari pengguna kendaraan pribadi.

Maksud penelitian adalah untuk mendapatkan pola perjalanan penduduk di Pulau Batam sampai dengan tahun 2030.

Tujuan penelitian adalah untuk mengembangkan model distribusi perjalanan penduduk Pulau Batam yang dapat mereplikasikan kondisi lapangan sebagai alat untuk mengidentifikasi koridor potensial angkutan umum masal dan memprediksi besarnya permintaan perjalanan pada koridor potensial sampai dengan tahun 2030

## 2. BAHAN DAN METODE

Untuk mempermudah analisis, daerah studi dibagi ke dalam beberapa zona lalu lintas, yaitu 32 zona internal dan 9 zona yang berhubungan dengan

pergerakan external yang diwakili simpul-simpul transportasi berupa pelabuhan laut atau bandar udara serta jembatan Barelang seperti dapat dilihat pada **Tabel 1**. Pembagian zona didasarkan pada wilayah administrasi. Hal ini dilakukan dengan maksud agar mudah mendapatkan data-data tentang kondisi setiap zona lalu lintas, antara lain tentang kependudukan.

**Tabel 1** Zona Lalu Lintas

Wilayah Administrasi	No. Zona
Bengkong Laut	1001
Harapan Baru	1002
Sei Jodoh	1003
Bukit Senyum	1004
Kp. Seraya	1005
Bukit Jodoh	1006
Batu Merah	1007
Bengkong Harapan	1008
Tiban Asri	1009
Tiban Lama	1010
Sei Harapan	1011
Tiban Indah	1012
Patam Lestari	1013
Tanjung Uncang	1014
Tanjung Riau	1015
Tanjung Pinggir	1016
Muka Kuning	1017
Sagulung	1018
Tanjung Piayu	1019
Batu aji	1020
Lubuk Baja Kota	1021
Kampung Pelita	1022
Batu Selicin	1023
Tanjung Uma	1024
Pangkalan Petai	1025
Baloi Permai	1026
Batu Besar	1027
Baloi	1028
Teluk Tering	1029
Kabil	1030
Nongsa	1031
Belian	1032
Zona External	
Gate 1 (P. Batu Ampar)	1039
Gate 2 (P. Nongsa)	1040
Gate 3 (P. Batu Besar)	1041
Gate 4 (P.Kabil)	1042
Gate 5 (P. Punggur)	1043
Gate 6 (J. Trans Barelang)	1044
Gate 7 (P. Tanjung Uncang)	1045
Gate 8 (P. Sekupang)	1046
Gate 9 (B. Hang Nadim)	1047

Data penduduk sangat penting dalam proses pengembangan model baik mulai dari pengembangan model bangkitan perjalanan sampai dengan model distribusi perjalanan. Data tentang kependudukan disajikan pada **Tabel 2**.

**Tabel 2.** Penduduk Kota Batam, Tahun 2007

No	Kecamatan	Desa/ Kelurahan	Jumlah Penduduk
1	Sekupang	1. Tanjung Riau	74,572
		2. Tiban Baru	8,465
		3. Tiban Lama	15,990
		4. Tiban Indah	12,276
		5. Patam Lestari	10,427
		6. Sungai Harapan	11,791
		7. Tanjung Pinggir	9,021
2	Batu Ampar	1. Tanjung Sengkuang	6,602
		2. Sungai Jodoh	44,535
		3. Batu Merah	18,699
		4. Kampung Seraya	8,478
3	Sei Beduk	1. Tanjung Piayu	7,149
		2. Duriangkang	10,209
		3. Mangsang	69,811
		4. Muka Kuning	8,398
4	Nongsa	1. Ngenang	13,455
		2. Kabil	24,402
		3. Batu Besar	23,556
		4. Sambau	42,028
5	Belakang Padang	1. Pulau Terong	1,420
		2. Pecong	19,043
		3. Kasu	15,392
		4. Pemping	6,173
		5. Tanjung Sari	20,046
		6. Sengkanak Raya	3,494
6	Galang	1. Pulau Abang	827
		2. Karas	3,182
		3. Sijantung	960
		4. Sembulang	5,716
		5. Rempang Cate	5,867
		6. Subang Mas	14,280
		7. Galang Baru	1,600
		8. Air Raja	2,594
7	Lubuk Baja	1. Batu Selicin	1,674
			1,947

No	Kecamatan	Desa/ Kelurahan	Jumlah Penduduk
		2. Lubuk Baja Kota	13,428
		3. Kampung Pelita	10,632
		4. Baloi Indah	21,794
		5. Tanjung Uma	12,361
8	Bulang		9,481
		1. Pantai Gelam	1,260
		2. Temoyong	1,270
		3. Pulau Setokok	2,265
		4. Batu legong	982
		5. Bualang Lintang	1,311
		6. Pulau Buluh	2,393
9	Batam Kota		105,388
		1. Teluk Tering	9,235
		2. Taman Baloi	19,436
		3. Sukajadi	4,624
		4. Belian	27,661
		5. Sungai Panas	21,853
		6. Baloi Permai	22,579
10	Batu Aji		80,654
		1. Bukit Tempayan	13,263
		2. Buliang	32,562
		3. Kibing	20,011
		4. Tanjung Uncang	14,818
11	Sagulung		120,142
		1. Tembesi	16,914
		2. Sungai binti	17,652
		3. Sungai Lekop	15,261
		4. Sagulung Kota	32,723
		5. Sungai Langkai	25,064
		6. Sungai Pelunggut	12,528
12	Bengkong		69,052
		1. Bengkong Laut	15,976
		2. Bengkong Indah	18,862
		3. Sadai	14,708
		4. Tanjung Buntung	19,606
TOTAL			727,878

Sumber: Dinas Kependudukan, Capil dan KB Kota Batam, 2008

Disamping itu sistem jaringan jalan di Pulau Batam harus disusun dalam format komputer yang dapat memberikan data tentang panjang, jumlah lajur per jalur, arah arus, kapasitas jalur, fungsi volume dan kelambatan (*volume delay function*). Oleh karena itu data tentang kondisi jaringan jalan perlu diketahui. Kondisi jalan di Pulau Batam

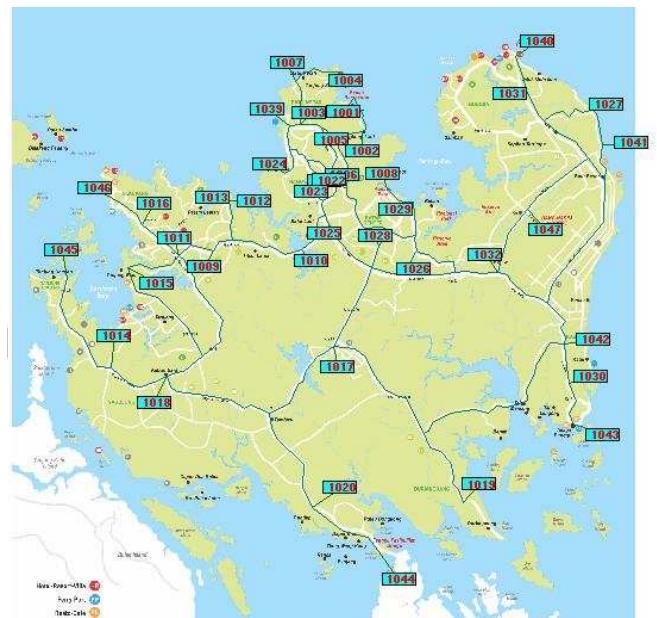
sampai dengan tahun 2007 dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Panjang Jalan Menurut Kondisi Jalan (km)

Tahun	Baik	Sedang	Rusak	Rusak Berat	Jumlah
1992	266,33	50,61	38,15	-	355,09
1993	266,33	84,59	51,8	-	402,72
1994	299,91	86,29	29,94	-	416,14
1995	502,81	106,58	65,8	-	675,19
1996	528,11	106,58	53,7	-	688,38
1997	559,7	106,58	29,8	-	696,08
1998	609,06	106,58	58,1	-	773,74
1999	620,7	101,7	53,2	-	775,6
2000	649,39	101,7	45,86	-	796,95
2001	651,4	101,7	51,16	-	807,26
2002	714,64	109,7	41,16	10	875,5
2003	778,74	110,47	41,16	20,7	951,07
2004	788,64	110,47	41,16	26	966,27
2005	795,43	144,32	79,48	64,42	1083,64
2006	805,99	148,46	68,92	64,42	1087,78
2007	825,16	155,51	55,6	51,52	1087,78

Sumber: Dinas Kimpraswil Batam, 2008

Untuk pola jaringan jalan dan zona lalu lintas di pulau Batam setelah dimasukkan ke dalam format komputer dapat dilihat pada Gambar 1.



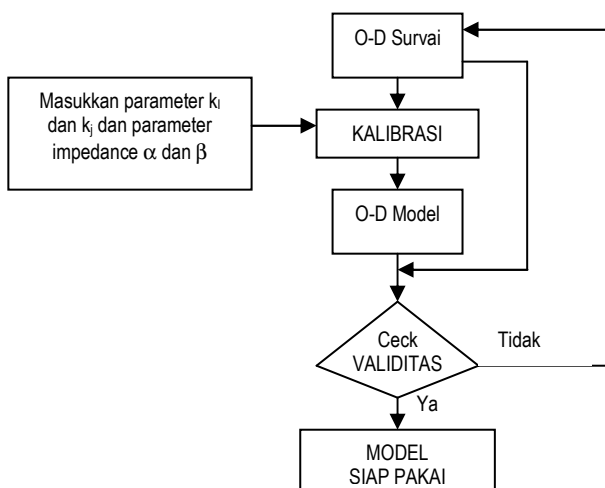
Gambar 1. Zona Lalu lintas dan Sistem Jaringan Jalan di Pulau Batam

Data asal – tujuan perjalanan diperoleh dengan menggunakan data hasil survai wawancara rumah tangga, di mana isi wawancara antara lain menanyakan tentang semua aktivitas perjalanan responden yang dilakukan sepanjang hari pada hari sebelumnya (satu hari sebelum wawancara) berupa asal, tujuan dan maksud perjalanan serta moda transportasi yang digunakan.

Dari data asal – tujuan perjalanan dapat diketahui besarnya produksi (*trip production*) dan tarikan perjalanan (*trip attraction*) tiap zona lalu lintas. Data asal tujuan perjalanan disusun sedemikian akan membentuk matrik asal tujuan sehingga dapat dengan mudah diketahui besarnya produksi dan tarikan perjalanan dari tiap zona analisis. Besarnya jumlah perjalanan pada tiap pasang zona asal dan zona tujuan bersama-sama dengan bangkitan perjalanan (*trip generation*) dan impedance (berupa data jarak antar zona) dijadikan dasar dalam membangun model distribusi perjalanan melalui proses kalibrasi model.

Proses kalibrasi meliputi: (a) spesifikasi fungsi matematis untuk membentuk fungsi impedance  $f(T_{ij})$  yang mereplikakan bentuk dari *trip-length frequency distribution* hasil survai dan (b) menentukan parameter-parameter dari fungsi ini sehingga *mean trip length* model lalu lintas sama dengan hasil survai lalu lintas (J.A. Black, 1981).

Alur pikir yang digunakan dalam pembuatan model dapat dilihat pada **Gambar 2**. Data survai *Origin-Destination* (O-D) dipakai untuk mengkalibrasi model sesuai dengan metode yang dipakai di mana dalam kajian ini digunakan *Fully Constraint Gravity Model*. Selanjutnya dari proses kalibrasi tersebut akan menghasilkan model distribusi perjalanan yang berisi pola asal tujuan perjalanan (O-D model).



**Gambar 2.** Alur Pemodelan

Model distribusi perjalanan terkalibrasi belum menggambarkan apakah model tersebut dapat digunakan sebagai alat dalam memprediksi perjalanan di masa mendatang atau tidak. Untuk itu diperlukan uji validasi model yang dapat memberikan gambaran tentang keakuratan model yang sudah terkalibrasi tersebut. Proses validasi dapat dilakukan dengan metode analisa regresi untuk melihat seberapa jauh kemiripan hasil model dengan hasil survai. Apabila terbukti model yang terbentuk valid maka model itu dapat dipakai untuk memprakirakan pola perjalanan (O-D matrik) pada tahun-tahun yang akan datang. Apabila belum valid, maka proses harus diulang dari awal.

Persamaan *Fully Constrained Gravity Model* adalah sebagai berikut:

$$Q_{ij} = \frac{k_i k_j P_i A_j}{f(T_{ij})} \quad (1)$$

Di mana

$$k_i = \left\{ \frac{\sum k_j A_j}{f(T_{ij})} \right\}^{-1} \quad (2)$$

$$k_j = \left\{ \frac{\sum k_i P_i}{f(T_{ij})} \right\}^{-1} \quad (3)$$

Keterangan:

- $Q_{ij}$  = Perjalanan dari zona i ke j
- $k_i$  = konstanta produksi zona i
- $k_j$  = konstanta tarikan zona j
- $P_i$  = produksi perjalanan dari zona i
- $A_j$  = tarikan perjalanan ke zona j
- $f(T_{ij})$  = fungsi impedance

Fungsi *impedance* yang digunakan dalam pemodelan ini adalah 'Power Function' dengan persamaan sebagai berikut:

$$f(T_{ij}) = T_{ij}^\alpha \quad (4)$$

Fungsi impedance yang digunakan di dalam model *gravity* ini merupakan fungsi dari jarak antar zona (*travel distance*).

Dalam menentukan parameter-parameter kalibrasi, proses dilakukan dengan cara iteratif sedemikian hingga diperoleh perbedaan antara *mean trip length* model dan survai sekitar 3% (J.A. Black, 1981).

### 3. BAHAN DAN METODE

#### 3.1. Kalibrasi Model

Prosedur paling sederhana dalam proses kalibrasi adalah menghitung demand model menggunakan nilai parameter  $\alpha$  pada suatu range tertentu dengan cara 'trial and error' sedemikian sehingga diperoleh nilai  $\alpha$  yang memenuhi:

$$(\sum \sum Q'_{ij} f(T_{ij})) / \sum \sum Q'_{ij} = (\sum \sum Q_{ij} f(T_{ij})) / \sum \sum Q_{ij} \quad (5)$$

Nilai parameter yang rendah menunjukkan *mean trip length* model relatif panjang dan nilai parameter yang tinggi menunjukkan *mean trip length* model relatif pendek.

Algoritma untuk memperkirakan nilai parameter model dan *balancing factors* (konstanta produksi dan tarikan) adalah sebagai berikut (J.A. Black, 1981):

Step 1: Pilih nilai awal parameter kalibrasi dan hitung *balancing factors*. Sebagai contoh, ambil  $\alpha = 1$ , dan gunakan semua  $k'_j$  dengan 1. *Balancing factors* diselesaikan dengan prosedur iterasi, dengan mengasumsikan nilai baik  $k_i$  maupun  $k'_j$ . Nilai awal yang dipilih tidak penting karena *balancing factors* akan ditemukan. Untuk memulai proses iterasi, asmsikan  $k'_j = 1.0$  dan hitung  $k_i$  dan selanjutnya  $k_i$  dari iterasi ini digunakan sebagai input dalam menghitung  $k'_j$  pada iterasi berikutnya. Konvergensi dicapai jika nilai  $k_i$  dalam iterasi ke-n sama dengan nilai  $k_i$  dalam iterasi ke-(n-1).

Step 2: Masukkan *balancing factors* ke dalam persamaan model distribusi perjalanan (persamaan 1) dan hitung *matrix model* O-D.

Step 3: Hitung *mean trip length* dari semua perjalanan dalam *matrix model* O-D.

Step 4: Bandingkan *mean trip length* model dan survai dan sesuaikan parameter kalibrasi dengan menaikkan nilai parameternya jika *mean trip length model* terlalu besar, dan menurunkannya jika *mean trip length model* terlalu kecil.

Step 5: Pilih parameter kalibrasi lain dan ulangi step 1 sampai 4 sampai diperoleh kriteria kalibrasi yang memuaskan.

Model trip distribusi terkalibrasi diperoleh dengan melakukan iterasi sampai sepuluh kali untuk mencapai hasil yang konvergen.

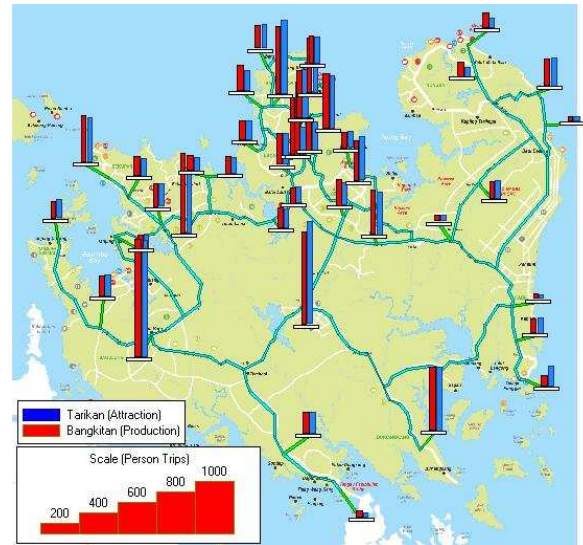
Data bangkitan perjalanan (*trip generation*) yang terdiri dari produksi perjalanan (*trip production*) dan tarikan perjalanan (*trip attraction*) masing-masing zona serta data besarnya jumlah perjalanan antar pasangan zona pada tahun dasar di daerah studi merupakan masukan utama disamping matrik jarak perjalanan antar zona yang digunakan sebagai *impedance model*.

Produksi dan tarikan perjalanan tiap-tiap zona perencanaan pada tahun 2009 dapat dilihat pada **Gambar 3**.

Fungsi *impedance* yang terbentuk dari fungsi jarak tempuh mempunyai faktor  $\alpha$  sebesar **0.3657**. Persamaan terkalibrasi tersebut adalah sebagai berikut:

$$Q_{ij} = k_i k_j P_i A_j / d^{0.3657}$$

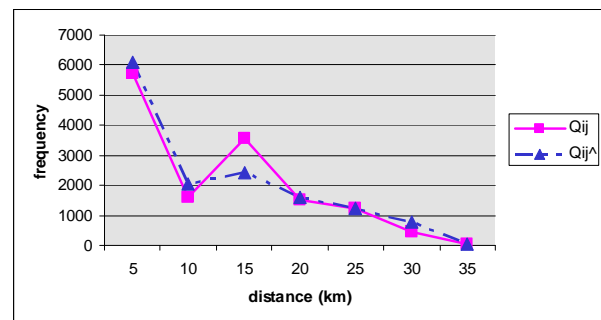
Di mana  $d$  adalah jarak tempuh antar zona lalu lintas.



**Gambar 3.** Bangkitan Perjalanan Tahun 2009

Pada kondisi konvergen, fungsi *impedance* yang ada menghasilkan distribusi perjalanan dengan perbedaan *mean trip length* antara model dan survai sebesar **0.141%**. *Mean trip length* model sebesar **9.052** km dan observasi atau survai **9.039** km. Perbedaan ini sangat kecil sekali, sehingga sesuai dengan (J.A. Black, 1981) model yang terkalibrasi ini sudah memadai untuk dipakai.

Distribusi frekuensi trip length baik model dan survai dapat dilihat pada **Gambar 4**.



**Gambar 4.** Frekuensi trip length distribution

### 3.2. Validasi Model

Untuk melihat validitas model, digunakan metode sederhana dengan analisa regresi untuk melihat seberapa besar hubungan antara pola perjalanan model dengan kondisi lapangan (hasil survai). Asal tujuan perjalanan hasil survai sebagai *dependent variable* (Y) dan hasil pemodelan sebagai *independent variable* (X), dan b adalah ko-efisien regresi, secara umum persamaan regresi adalah sebagai berikut (Anto Dajan, 1993):

$$Y = a + bX \quad (6)$$

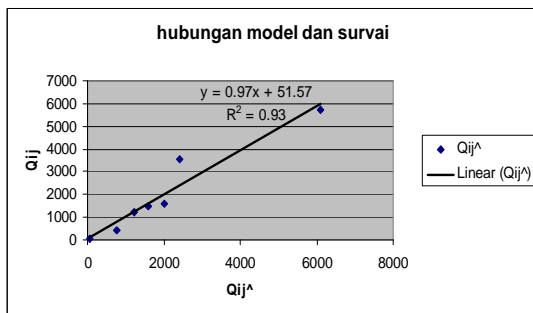
Dari analisa regresi dengan *confidence level* 95% diperoleh bahwa  $R^2$  adalah sebesar 0.93 Yang berarti kedekatan antara model dengan keadaan lapangan relatif bagus. Adapun hasil persamaan regresi tersebut adalah sebagai berikut:

$$y = 0.9744x + 51.571$$

di mana :

- y : permintaan perjalanan hasil survai
- x : permintaan perjalanan hasil model

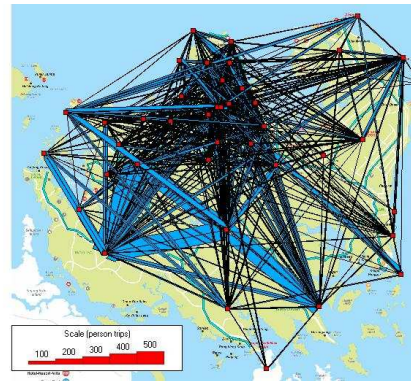
Untuk mempermudah secara visual dalam melihat perbedaan hasil model dengan data observasi, analisa regresi ini dapat dilihat pada **Gambar 5**.



**Gambar 5.** Hubungan model dan survai

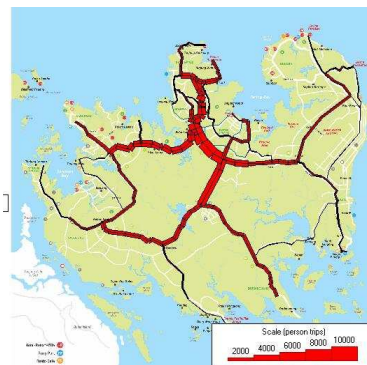
### 3.3. Hasil Pemodelan

Dengan menggunakan model distribusi perjalanan yang telah dikembangkan, dapat diperoleh pola perjalanan di pulau Batam yang digambarkan secara grafis dalam bentuk garis keinginan atau *desired lines* seperti ditunjukkan pada **Gambar 6**.



**Gambar 6.** *Desired Lines* Tahun Dasar 2009 (person trips/jam)

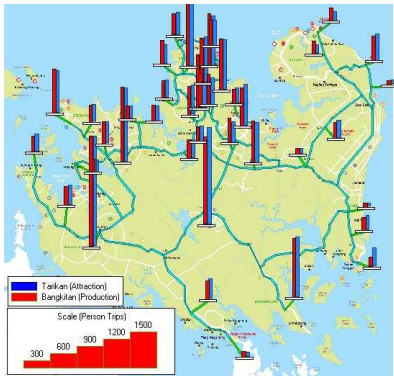
Selanjutnya dengan memasukkan O-D matrix ke dalam sistem jaringan (proses pembebanan perjalanan) diperoleh data jumlah perjalanan pada setiap segmen jaringan. Informasi ini membantu dalam mengidentifikasi pada jaringan mana jumlah perjalanan yang diperkirakan naik angkutan umum sangat cukup potensial. Hasil pembebanan perjalanan pada tahun dasar (2009) disajikan pada **Gambar 7**.



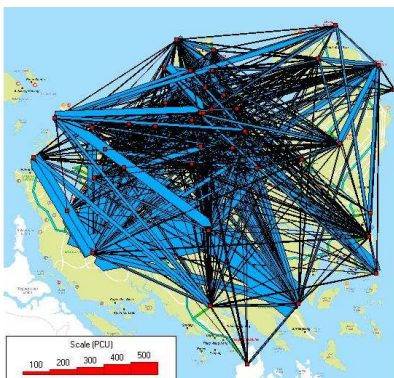
**Gambar 7.** Pembelian Perjalanan Tahun Dasar (Tahun 2009)

Selanjutnya untuk memperkirakan besarnya perjalanan pada tahun 2030 digunakan data perkiraan produksi dan tarikan perjalanan pada tahun yang sama (tahun 2030). Besarnya produksi dan tarikan perjalanan di daerah studi pada tahun 2030 dapat dilihat pada **Gambar 8**. Dengan memasukkan bangkitan perjalanan tahun 2030 tersebut ke dalam model distribusi perjalanan tahun dasar yang telah divalidasi, dapat diperoleh prakiraan distribusi perjalanan tahun 2030. Pola perjalanan berupa garis keinginan di daerah studi tahun 2030 disajikan pada **Gambar 9**.

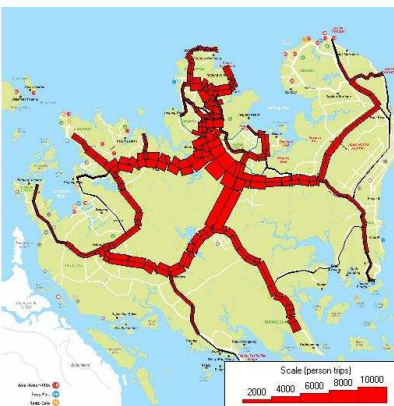
Dengan melakukan proses pembebanan (traffic assignment) terhadap distribusi perjalanan ke dalam sistem jaringan akan diperoleh jumlah perjalanan pada jaringan di tahun 2030. Perkiraan jumlah perjalanan pada setiap segmen jaringan pada tahun 2030 dapat dilihat pada **Gambar 10**, dan **Tabel 4**.



Gambar 8. Bangkitan Perjalanan Tahun 2030



Gambar 9. Desired Lines Tahun Dasar 2030 (person trips/jam)



Gambar 10. Pembebanan Perjalanan Tahun 2030

Tabel 4. Perkiraan Jumlah Penumpang LRT Tahun 2030

No	Segmen/Koridor	Panjang (Km)	Arah ke	Penumpang (pnp/hari)
1	Nongsa – Batam Center	16.36	Batam Center	46,991
			Nongsa	47,747
2	Batu Ampar – Batu Aji	27.55	Batu Aji	99,435
			Batu Ampar	94,555
3	Sekupang – Batam Center	16.48	Sekupang	55,422
			Batam Center	58,951

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang telah dilakukan pada penelitian ini dapat diambil kesimpulan beberapa hal sebagai berikut:

- Hasil kalibrasi model distribusi perjalanan dengan parameter  $\alpha$  sebesar **0.3657** memberikan perbedaan *mean trip length* antara model dan survei sebesar **0.141%**
- Berdasarkan validasi model dengan menggunakan metode regresi memberikan gambaran bahwa model yang dikembangkan cukup baik dalam mereplikasikan kondisi lapangan ditunjukkan oleh besarnya  $R^2$  sebesar 0.93 sehingga model ini dapat dipakai dalam proses peramalan perjalanan penduduk Pulau Batam di masa mendatang.
- Koridor yang cukup potensial untuk diterapkan LRT sebagai angkutan umum masal di Pulau Batam adalah koridor Batu Ampar – Batu Aji melalui Muka Kuning dengan perkiraan jumlah penumpang pada tahun 2030 sebesar 193.990 penumpang/hari untuk dua arah.

#### DAFTAR PUSTAKA

Black, J.A., *Urban Tranport Planning: "The Analysis of Travel Demand"*, Cromm Helm, London, 1981, p. 61-104

Badan Pusat Statistik Kota Batam, *Batam Dalam Angka*, 2008

Dajan, Anto, *Pengantar Metode Statistik Jilid I*, LP3ES, 1993, hal 367 – 369

Dinas Pemukiman dan Prasarana Wilayah Kota Batam, *Data dan Informasi*, 2008

Dinas Kependudukan, Capil dan KB Kota Batam, 2008