**PERTEMUAN KE-I**

**MODEL GRAVITASI**

Model gravitasi adalah model yang paling sering digunakan dalam studi-studi perencanaan dan transportasi, karenanya prinsip-prinsip dasarnya sangat penting untuk dimengerti.

### Sejarah Model Gravitasi

Model gravitasi dikembangkan dari ilmu fisika, yaitu hukum Gravitasi Newton yang kemudian diterapkan dalam ilmu sosial.

Pernyataan Newton :

*Dua benda di alam saling menarik satu sama lain, dalam proporsi produk dari massanya, dan berbalikan dengan kuadrat jarak kedua benda tersebut.*

Secara matematis dapat ditulis sebagai berikut :

………. (1)

Dimana :

**F** =Gaya tarik menarik suatu massa (benda) terhadap massa (benda) yang lain

**M1 dan M2** =Massa atau ukuran kedua benda tersebut

**D** = Jarak antara kedua benda

**G** = konstanta, yaitu kekuatan gravitasi

Aplikasi Konsep gravitasi dalam sistem perkotaan :

1. kekuatan daya tarik dua benda diinterpretasikan sebagai sejumlah interaksi antar dua daerah
2. massa benda diukur dalam bentuk ukuran (size) atau daya tarik daerah

Versi sederhana dari model gravitasi ini ditulis secara matematis sebagai berikut:

………. (2)

|  |  |
| --- | --- |
| Dimana : |  |
| *I ij* | = interaksi antara daerah i dan j |
| *Pi*dan *P j* | = ukuran dari daerah i dan j |
| *d ij* | = Jarak antara kedua benda |
| b | = suatu kekuatan atau exponen yang diterapkan pada jarak antara daerah-daerah tersebut |
| G | = suatu konstanta yang ekivalen dengan konstanta gravitasi, |

yang ditentukan secara empiris, dan digunakan untuk menghubungkan hubungan dengan kondisi nyata

### Contoh Soal

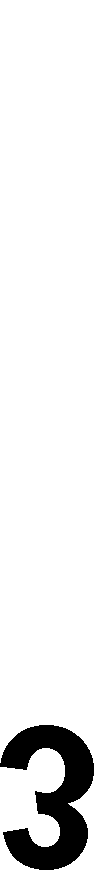
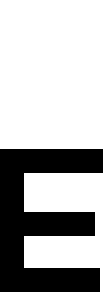
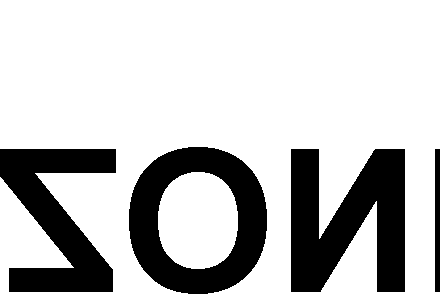
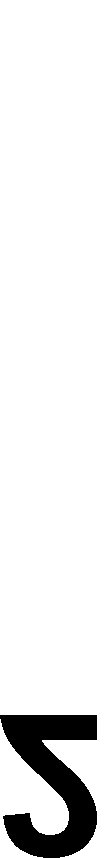
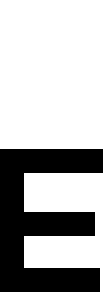
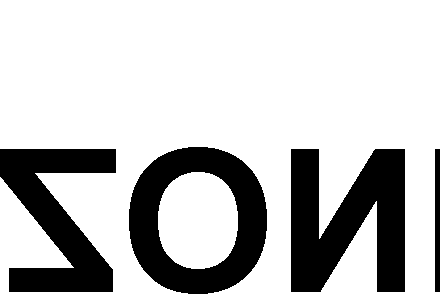
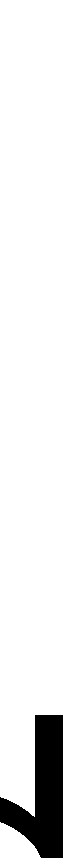
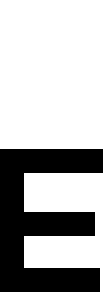
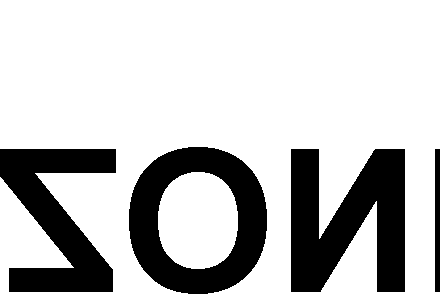
### Diketahui :

Dalam suatu kota P (hipotetis) terdapat 3 zona.

Jumlah penduduk kota P = 25.000

Jumlah total trips (perjalanan) yang dilakukan oleh penduduk kota tersebut adalah T = 75.000

**KOTA P :**



Interaksi antara ketiga zone tsb dapat digambarkan dalam bentuk jumlah trip yang dibuat antara tiap-tiap pasangan zone, misal antara :

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| zone 1 | dan | zone 2 |
| zone 1 | dan | zone 3 |
| zone 2 | dan | zone 1 |
| zone 2 | dan | zone 3 |
| zone 3 | dan | zone 1 |
| zone 3 | dan | zone 2 |

dan perjalanan(trip) internal dalam zone, yaitu baik asal maupun tujuan pada zone tsb, yang digambarkan dalam bentuk panah.

Model gravitasi menganggap bahwa sejumlah interaksi di antara 2 (dua) daerah secara langsung ditentukan oleh daya tarik atau ukuran daerah dan berbanding terbalik dengan jarak di antara keduanya.

Bila dianggap efek jarak pada saat interaksi diabaikan, maka volume trip (perjalanan) dari suatu zone i ke zone j akan secara langsung proporsional dengan kemungkinan suatu trip yang sesuai dengan tujuan ke zone j.

Daya tarik relative zone j (dalam bentuk populasi dari zone lain untuk melakukan trips ke zone j) akan sama dengan populasi zone j (yaitu Pj ) dibagi dengan populasi total dari kota tersebut (P).

Maka **proporsi perjalanan (daya tarik)** dari suatu zone yang mempunyai tujuan ke zone j akan sama dengan rasio

………. (3)

Untuk contoh soal di atas, bila jumlah penduduk zone 3 = P3 = 10.000 dibandingkan dengan total penduduk kota = P = 25.000, maka proporsi perjalanan yang dibuat seorang individu dari zone lain ke zone 3 adalah :

= 10.000/25.000=0,4=40%

Setelah menghitung *proporsi perjalanan* yang pergi ke zone j, maka akan mudah menghitung *jumlah perjalanan sebenarnya*  yang terlibat.

Rata-rata jumlah perjalanan yang dibuat oleh setiap individu (disebut **K),** pada daerah (region) adalah **T/P = K** …..(rumus ke 4)

maka jumlah actual (kenyataan) perjalanan yang menuju zone j yang dilakukan oleh individu yang tinggal di zone i adalah

………. (5)

Bila ada Pi individu yang tinggal di zone i, maka total jumlah perjalanan yang dibuat individu (di zone i) ke zone j adalah Pi kali jumlah trips yang dibuat individu, jadi

………. (6)

Dimana:

*ij* = jumlah total perjalanan yang dibuat individu yang tinggal di zone i menuju ke zone j.

*T*

Untuk contoh di atas, K=T/P = 7500025000= 3

Jika Pi = 6000 (dalam soal ini asal i = zone 1 dan tujuan j = zone 3

Hasilnya :

### Hitung total perjalanan dari :

* zone 1 ke zone 2
* zone 2 ke zone 3

….

….

Jelaslah hipotesa interaksi di atas adalah suatu penyederhanaan, karena asumsi bahwa jarak atau biaya tidak memberi dampak pada kelakuan pembuatan perjalanan (trip making). Padahal pada model gravitasi, apabila jarak antara kedua zone (i dan j) bertambah, maka jumlah interaksi antara zone-zone tsb menurun.

Menganggap dampak dari jarak, daya tarik zone j akan perjalanan dari zone-zone lain terlihat proporsional dengan ukuran penduduk di j ....Pj relatif terhadap total penduduk pada kota tsb. Makin besar proporsi penduduk yang tinggal di zone j, makin besar perjalanan yang berakhir di j.

Bagaimanapun efek jarak terhadap interaksi dapat meniadakan ukuran atau daya tarik suatu zone. Jumlah interaksi antara zoe i dan zone j akan berkurang apabila jarak meningkat, maka daya tarik zone j dari rumus ...(3) berubah menjadi

………. (7)

**Dimana** *d ij* = jarak antara i dan j

Oleh karena menurut Isard (1960), Carol dan Bevis (1957) bahwa efek jarak terhadap interaksi tidaklah sama, jarak yang panjang memberi *efek penolakan* yang lebih proporsional dibandingkan jarak yang pendek, maka rumus (7) menjadi

………. (8)

Dimana **b** adalah suatu eksponen yang merupakan “*power of distance”* Maka rumus (8) dapat disubtistusikan ke rumus (6) untuk mendefinisi ulang interaksi antara zone i dan zone j sebagai berikut :

………. (9)

Persamaan ini dapat disederhanakan karena, pada setiap area yang diberikan, K dan P keduanya adalah konstan, yang dapat ditulis dengan G , jadi G=K/P, maka didapat

………. (10)

### Contoh soal :

Bila diketahui jumlah pendudulk kota i = 10.000 kota j = 15.000

Jarak dari i ke j = 60 km, dan nilai G = 3, berapakah Total perjalanan dari i ke j ?

DAFTAR PUSTAKA

1. Oppenheim, *“****Applied Models in Urban and Regional Analysis****”,*First Edition,Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1980, ISBN No. 0-13-041467-0
2. Warpani, Suwardjoko, *“****Analisis Kota dan Daerah****”,* Edisi ketiga, Penerbit ITB, Bandung, 1984, ISBN No. 979-8591-49-6

**PERTEMUAN KE-II**

**Model Gravitasi (Lanjutan)**

Makin besar proporsi penduduk yang tinggal di zone j, makin besar perjalanan yang berakhir di j.

Bagaimanapun efek jarak terhadap interaksi dapat meniadakan ukuran atau daya tarik suatu zone. Jumlah interaksi antara zoe i dan zone j akan berkurang apabila jarak meningkat, maka daya tarik zone j dari rumus ...(3) berubah menjadi

………. (7)

Dimana *d ij* = jarak antara i dan j

Oleh karena menurut Isard (1960), Carol dan Bevis (1957) bahwa efek jarak terhadap interaksi tidaklah sama, jarak yang panjang memberi *efek penolakan* yang lebih proporsional dibandingkan jarak yang pendek, maka rumus (7) menjadi

………. (8)

Dimana **b** adalah suatu eksponen yang merupakan “*power of distance”* Maka rumus (8) dapat disubtistusikan ke rumus (6) untuk mendefinisi ulang interaksi antara zone i dan zone j sebagai berikut :

………. (9)

Persamaan ini dapat disederhanakan karena, pada setiap area yang diberikan, K dan P keduanya adalah konstan, yang dapat ditulis dengan G , jadi G=K/P, maka didapat

………. (10)

**Contoh soal :**

Bila diketahui jumlah pendudulk kota i = 10.000 kota j = 15.000

Jarak dari i ke j = 60 km, dan nilai G = 3, berapakah Total perjalanan dari i ke j ?

Persamaan 10 menggambarkan pola aktual volume perjalanan dalam satu daerah perkotaan yang terdiri atas beberapa zone. Bila seluruh zone (1,2,3,...,n) dengan menambahkan nilai-nilai setiap interaks-interaksi tsb, didapat

………. (11)

Persamaan (11) dapat ditulis:

………. (12)

## **Bentuk Modern dari Model Gravitasi**

## Bentuk sederhana dari model gravitasi pada persamaan (10) telah diadaptasikan tidak hanya untuk ukuran daya tarik zone-zone dan jarak yang memisahkan zone-zone, tetapi juga kompetisi dengan zone-zone lain.

## Maka model gravitasi digambarkan dalam bentuk : sejumlah interaksi antara dua atau lebih zone-zone adalah proporsional dengan ukuran (atau kekuatan daya tarik) dari zone-zone, dan berbanding terbalik (inversely proportional) dengan jarak antara zone-zone dan daya tarik relatif dari zone-zone yang berkompetisi (competing zone)

*Pi P j*

*G b d*

*T ij* =*G Pbi* +*G Pb*2 +*G ij Pb*3 +...+*G Pb n* ..............(13)

*d i*1 *d i*2 *d i*3 *d in*

Dimana

*Pi P j* 1

= *x x x G b G Pi P j b*

*d ij d ij*

1 −*b*

=

*d b d ij*

*ij*

*G Pb*1 +*G Pb*2 +*G Pb*3 +...*G Pbn* =*G*∑*n P j d ij*−*b*

*d i*1 *d i*2 *d i*3 *d in j*=1

*Pi P j* −*b*

= *x x*

*G d b G Pi P j d ij*

*ij*

Berarti :

*GPPd*−*b*

= *i j ij T ij n* −

*G*∑*P j d ijb* ......(14)

*j*=1

*PPd*−*b*

*i j ij T ij n*

=

∑*Pd*−*b* .........(15)*j ij*

*j*=1

Maka:

# Pd−b

*j ij n*

∑*P j d ij*−*b*

*j*=1

adalah *probability interaction* antara zone i dengan zone j yang didasari oleh daya tarik dari j dibandingkan dengan daya tarik dari seluruh zone.

Jumlah interaksi aktual diperoleh dengan mengalikan probability dengan total aktivitas di zone i = Pi

−1

*A* =⎛⎜ ∑*n P jdij*−*b*⎞ ⎟  ......(16) *i*

Bila : ⎝ *j*=1 ⎠

Maka persamaan (15) dapat disederhanakan sbb :

−*b* =*APPd*

*T*

*ij i i j ij*  .........(17)

atau

*T*

−*b*

*ij* =*Pi Ai P j d ij*  .........(17)

*Probability interaction* antara i dan j ditulis sebagai *Ai P j d ij*−*b* bila Pi diganti dengan Oi dan Pj diganti dengan Dj maka

−*b*

*T*

*ij* =*Oi Ai D j d ij* ....................(18)

Dimana :

|  |  |
| --- | --- |
| *T ij* | = jumlah trip di antara zone i dan zone j |
| *Oi* | = Jumlah trip yang berasal (origin=O) dari zone i |
| *Ai* | = Pengukuran daya tarik zone i |
| *d ij* | = Jarak antara zone i dengan zone j |
| *D j* | = jumlah trip yang menuju (Destination=D)zone j |
| **b** | = *Exponen power of distance* (kekuatan dari jarak) |

## CONTOH PENGGUNAAN MODEL GRAVITASI

Terdapat berbagai tipe model yang didasarkan pada konsep gravitasi. Tidak mungkin, bahkan penting untuk menguji semua. Bagaimanapun, suatu model gravitasi harus diuji sehingga pengguna dapat mencapai suatu ide dari berbagai variasi bentuk2 yang telah dibangun dari prinsip2 dasar tersebut. Bagian ini akan menguji model2 berikut :

1. Model potensial/gravitasi dari Hansen
2. Single-constrained gravity model untuk lokasi perdagangan retail
3. Double-constrained gravity model untuk trip distribution

Uraian Masing – masing Model :

## (i) Model potensial/gravitasi dari Hansen

Model ini dibangun oleh W.G. Hansen (1959). Suatu model lokasi dari Hansen, yang didisain untuk meprediksi lokasi penduduk. Didasarkan pada asumsi bahwa aksessibilitas dari tenaga kerja adalah faktor utama untuk menentukan lokasi penduduk. Ini bukan merupakan gravity model murni, karena didasarkan pada interaksi antara zone2. Hal ini mungkin lebih tepat disebut model “potensial”, karena ini mengenai “interaksi potensial” atau relatif aksessibilitas dari zone2.

Hansen mengusulkan bahwa hubungan antara lokasi penduduk dan tenaga kerja dapat digambarkan dalam ungkapan suatu Indeks Aksessibilitas, yang didefinisikan untuk setiap zone sebagai aksesibilitas terhadap tenaga kerja. Perhitungan Indeks aksesibilitas adalah sebagai berikut :

*E*

*A*

= *j ij b*

*d*

*ij*

Dimana :

*Aij* = adalah indeks aksessibilitas dari zone i relatif terhadap zone j *E j* = total tenaga kerja di j *d ij* = jarak antara i dan j *b* = suatu eksponen atau power (kekuatan) dari jarak

Ini adalah ekspresi untuk akessibilitas dari zone i dalam keterkaitannya dengan zone j. Indeks secara keseluruhan untuk zone i adalah jumlah seluruh individual indeks, sehingga

# E

= *j ij* ∑ *b j d*

*A*

*ij*

Menurut Hansen, dalam aksessibilitas, satu faktor utama yang menentukan seberapa banyak jumlah penduduk yang akan tertarik ke wilayah yang ada adalah jumlah lahan kosong yang cocok untuk digunakan sebagai perumahan. Disebut “holding capacity” ( *H i* ) dari suatu zone.

Indeks “potensial pengembangan (*development potential*)” yaitu *Di* adalah :

*i* = *Ai H i*

*D*

“**potensial pengembangan (development potential**)” adalah suatu ukuran daya tarik setiap zone, didasarkan pada akses tenaga kerja dan jumlah lahan yang sesuai untuk perumahan. Penduduk dialokasikan ke zone2 pada basis potensial pengembangan relatif dari setiap zone, yaitu development potential dari setiap zone dibagi oleh potential dari seluruh zone :

*Ai H i*

∑*Ai H i*

*i*

Dengan perkataan lain, Hansen mengusulkan bahwa share pertumbuhan penduduk total (yang harus ditetapkam bagi model) yang akan dicapai oleh zone manapun adalah terkait dengan bagaimana daya tarik dari zone dalam keterkaitan terhadap zone2 yang saling berkompetisi. Bila pertumbuhan penduduk total (*total growth in population*) adalah *Gi* , maka total dari pertumbuhan tersebut terhadap zone **i** manapun adalah :

*G* =*G* ( *Ai H i* )

*i t*

⎛⎜∑*Ai H i* ⎞ ⎟

⎝ *i* ⎠

atau

*Gi*=*Gt* ∑*DDi i*

*i*

Dimana *Di* =*Ai H i*

## Contoh Soal Model Potensial dari Hansen

Diketahui data sebagai berikut :

Tabel 8.1. Tenaga Kerja Basic, tenaga Kerja Service, Total Tenaga Kerja, Total Jumlah Penduduk dan Holding Capacity (dalam Ha)

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Zone No. | Basic  Employment | Service  Employment | Total  Employment  Ej | Total  Population  (Gt) | Holding  Capacity  (acres atau Ha) |
| 1  2  3 | 2800  4000 12000 | 1200  4000 20000 | 4000  8000 32000 | 19000  35000  41000 | 100  125  100 |
| Total | 18800 | 25200 | 44000 | 95000 | 325 |

Tabel 8.2. Waktu Tempuh Antar Zone (*d ij* )

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Dari I  Ke J | J = 1 |  | J = 2 |  | J = 3 |
| I = 1 |  | 2 |  | 8 | 6 |
| I = 2 |  | 8 |  | 3 | 4 |
| I = 3 |  | 6 |  | 4 | 3 |

Exponent jarak : b = 2

*E*

*A*

= *j*

Maka perhitungan indeks aksessibilitasnya adalah : *ij d b*

*ij*

Tabel 8.3. hasil perhitungan *Aij*

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Zone | J = 1 | J = 2 | J = 3 | ∑*Aij*  *j* |
| I = 1 | (4000/22)=1000 | (8000/82)=125 | (32000/62)=888,89 | 2014 |
| I = 2 | (4000/82)=62,5 | (8000/32)=888,89 | (32000/42)=2000 | 2951 |
| I = 3 | (4000/62)=111,1 | (8000/42)=500 | (32000/32)=3555,56 | 4167 |

Kolom ke empat ∑*Aij* adalah indeks aksessibilitas untuk zone i dalam

*j*

kaitan dengan seluruh zone yang lain, yaitu : A1j + A2j + A3j ,dimana

|  |
| --- |
| A1j = 2014 |
| A2j = 2951 |
| A3j = 4167 |

Perhitungan Development Potential:

Langkah 1

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Zone | Ai |  | Hi |  | *Di* =*Ai H i* |
| 1 |  | 2014 |  | 100 | 201.400 |
| 2 |  | 2951 |  | 125 | 368.924 |
| 3 |  | 4167 |  | 100 | 416.700 |

∑*D i* = 987.024

*i*

Langkah 2

Perhitungan development potential setiap zone :

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Zone | Di | *Di* | / ∑*Di*  *i* |
| 1 | 201.400 |  | 0,204 |
| 2 | 368.924 |  | 0,374 |
| 3 | 416.700 |  | 0,422 |

Perkiraan Pertumbuhan Penduduk Gi :

*G Di*

*Gi*= *t* ∑*D*

*i* *i*

Total penduduk = Gt = 95.000

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Zone | *Di* / ∑*Di*  *i* | *Gi*=*Gt* ∑*DDi i*  *i* |
| 1 | 0,204 | 19.380 |
| 2 | 0,374 | 35.530 |
| 3 | 0,422 | 40.090 |
| Total | 1,000 | 95.000 |

Perbedaan antara distribusi penduduk berdasarkan pehitungan model dan distribusi actual :

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Zone | Prediksi  Penduduk | Penduduk Actual | Perbedaan |
| 1 | 19.380 | 19000 | +380 atau 2% |
| 2 | 35.530 | 35000 | +530 atau 1,51% |
| 3 | 40.090 | 41000 | -810 atau 1,97% |
| Total | 95.000 | 95000 | 0 |

Jelaslah model yang menghitung kembali distribusi penduduk sangat dekat dengan aktual – ditunjukkan dengan baik untuk contoh hipotetis. Korelasi antara penduduk aktual dan penduduk hasil prediksi secara fakta adalah 0,999.

Bila model digunakan untuk proyeksi, distribusi jumlah penduduk aktual tidak akan diketahui (paling tidak sampai akhirperiode proyeksi) dan model ini akan digunakan dengan prediksi tenaga kerja, holding capacity yang diketahui dan waktu tempuh.

**Soal latihan**

Diketahui data seperti di bawah ini :

Tabel 8.4. Tenaga Kerja Basic, tenaga Kerja Service, Total Tenaga Kerja, Total Jumlah Penduduk dan Holding Capacity (dalam Ha)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Zone No. | Total  Employment | Total Population | Holding  Capacity  (acres) |
| 1  2  3 | 5000  9000 35000 | 21000  35000  45000 | 200  250  150 |
| Total |  |  |  |

Tabel 8.5. Waktu Tempuh Antar Zone (*d ij* )

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Dari I  Ke J | J = 1 |  | J = 2 |  | J = 3 |  |
| I = 1 |  | 2 |  | 8 |  | 6 |
| I = 2 |  | 8 |  | 3 |  | 4 |
| I = 3 |  | 6 |  | 4 |  | 3 |

Exponent jarak = 2

Ditanyakan :

1. Indeks aksessibilitas per zone
2. Development potensial per zone
3. Perkiraan pertumbuhan penduduk
4. Perbedaan antara prediksi dengan kenyataan

## DAFTAR PUSTAKA

1. Oppenheim, *“****Applied Models in Urban and Regional Analysis****”,*First Edition,Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1980, ISBN No. 0-13-041467-0
2. Warpani, Suwardjoko, *“****Analisis Kota dan Daerah****”,* Edisi ketiga, Penerbit ITB, Bandung, 1984, ISBN No. 979-8591-49-6

**PERTEMUAN KE-III**

**PERTEMUAN KE-IV**

**PERTEMUAN KE-V**

**PERTEMUAN KE-VI**

**PERTEMUAN KE-VII**

**PERTEMUAN KE-VIII**

**PERTEMUAN KE-IX**

**PERTEMUAN KE-X**

**PERTEMUAN KE-XI**

**PERTEMUAN KE-XII**

**PERTEMUAN KE-XIII**

**PERTEMUAN KE-XIV**