

## Materi Kuliah

# PERENCANAAN DAN PEMODELAN TRANSPORTSI



## --- PEMILIHAN RUTE PERJALANAN ---

Dr.Eng. Muhammad Zudhy Irawan, S.T., M.T.  
Magister Sistem dan Teknik Transportasi, Universitas Gadjah Mada

## PENDAHULUAN



- Setiap pelaku perjalanan mencoba mencari rute terbaik yang meminimumkan biaya perjalanannya.
- Dari beberapa rute alternatif akhirnya berakhir pada suatu pola rute yang stabil setelah beberapa kali mencoba.
- Jika setiap pelaku perjalanan tidak dapat lagi mencari rute yang lebih baik untuk mencapai zona tujuannya maka kondisi ini dikenal dengan kondisi Keseimbangan Jaringan Jalan.



- Dalam pembebanan rute perjalanan terdapat beberapa inputan:
  1. Data OD (Matrik Asal-Tujuan Perjalanan),
  2. Jaringan jalan: volume, panjang, lebar, kendala, dll
  3. Fungsi keandalan jaringan
  4. Data jalan tol
  
- Setiap model memiliki tahapan yang harus dilakukan secara berurutan. Fungsi dasarnya adalah:
  1. Mengidentifikasi beberapa set rute yang akan diperkirakan menarik bagi pelaku perjalanan, rute ini akan disimpan dalam struktur data yang disebut pohon, karena itulah tahapan ini disebut tahapan pembentukan pohon



2. Membebankan MAT ke jaringan jalan dengan proporsi yang sesuai yang menghasilkan volume pergerakan pada setiap ruas di jaringan jalan
  3. Mencari konvergensi, beberapa teknik mengikuti pola pengulangan dari pendekatan menuju ke solusi.
- Output dari pembebanan jaringan lalu lintas diantaranya adalah:
    1. Volume lalulintas jaringan ( $v/c$  ratio),
    2. kecepatan perjalanan,
    3. waktu tempuh perjalanan
    4. rute yang terpilih



## METODE PEMILIHAN RUTE PERJALANAN

---

- Beberapa metode dalam pemodelan pembebanan rute perjalanan, diantaranya adalah:
  1. *All or Nothing Assignment*
  2. *Incremental Assignment*
  3. *User Equilibrium Assignment*
  4. *System Equilibrium Assignment*
  5. *Capacity Restraint Assignment*
  6. *Stochastic User Equilibrium Assignment*
  7. *Dynamic Assignment*



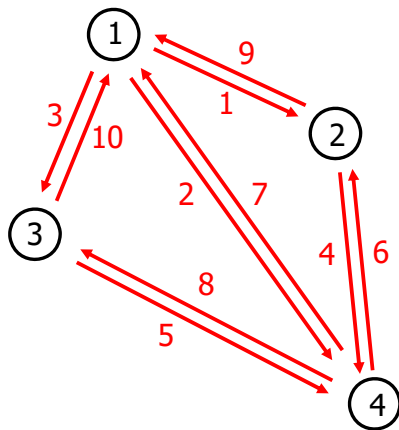
### **1. All or Nothing Assignment**

Metode ini merupakan model pemilihan rute paling sederhana, yang mengasumsikan bahwa:

- Semua pengendara berusaha meminimumkan biaya perjalanan tergantung pada karakteristik jaringan jalan dan asumsi pengendara.
- Semua perjalanan dari zona asal (i) ke zona tujuan (j) akan mengikuti rute tercepat.
- Faktor biaya dianggap tetap dan tidak dipengaruhi oleh faktor kemacetan.

# CONTOH 1

Jaringan Jalan



Waktu Tempuh

Link #	ta
1	5
2	15
3	6
4	8
5	7
6	8
7	15
8	7
9	5
10	6

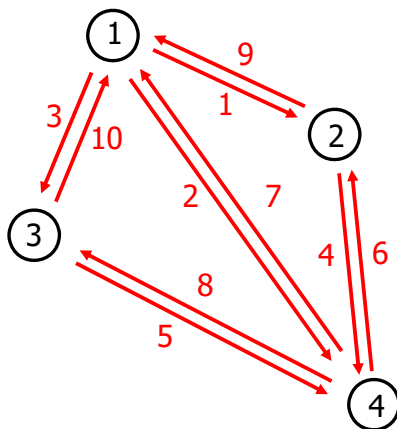
Matriks OD

$$T_{14} = 150$$

$$T_{12} = 250$$

Pertanyaan: Hitung volume lalu lintas di ruas jalan No. 1 !

1 ke 2



Rute	Komponen Link	TT
1	1	5
2	3, 5, 6	21
3	2, 6	23

1 ke 4

Rute	Komponen Link	TT
1	2	15
2	1, 4	13
3	3, 5	13

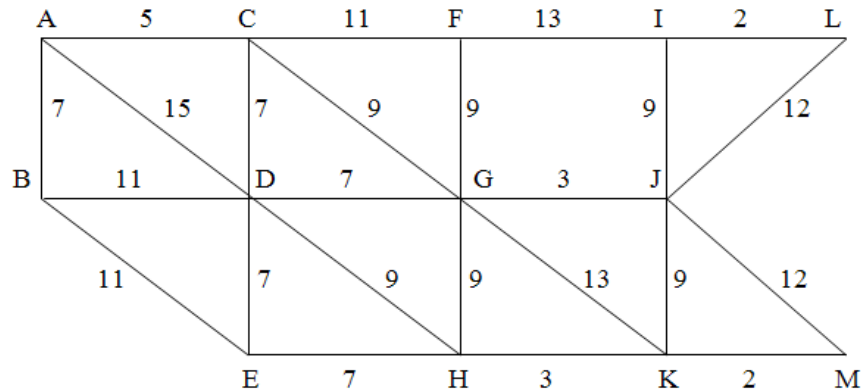
Jawab:

$$T_{121} = 250$$

$$T_{142} = T_{143} = 150/2 = 75$$

## LATIHAN SOAL 1

Suatu jaringan jalan menghubungkan 2 area pemukiman: A dan B dengan 2 area perbelanjaan: L dan M. Waktu tempuh pada setiap ruas jalan ditunjukkan dalam gambar tersebut dan dinyatakan dalam menit. Semua ruas jalan diasumsikan memiliki 2 arah. Semua variabel yang tidak disebutkan di atas dianggap sama dengan nol.



### Pertanyaan:

- Tentukan rute tercepat dari titik asal A dan B menuju tujuan L dan M, berapakah waktu tempuhnya?
- Dari hasil survei, saat jam puncak pada hari sabtu diketahui jumlah pergerakan dari A dan B menuju L dan M adalah sebagai berikut:
  - A – L : 600 kendaraan
  - B – L : 300 kendaraan
  - A – M : 400 kendaraan
  - B – M : 400 kendaraanTentukan jumlah arus lalu lintas pada tiap ruas jalan di periode jam puncak pada hari sabtu tersebut ! Gunakan metode *all or nothing* !

## 2. Incremental Assignment

- Model ini adalah proses di mana volume lalu lintas ditambahkan secara bertahap.
- Dalam setiap langkah, jumlah tetap dari *demand* total dianalisis, berdasarkan hasil model *all or nothing*.
- Setelah setiap langkah, waktu perjalanan rute dihitung ulang berdasarkan volume rute. Bila ada banyak penambahan *demand*, arus lalu lintas mungkin mirip model *equilibrium assignment*, namun metode ini tidak menghasilkan solusi keseimbangan.
- Akibatnya, akan ada inkonsistensi antara volume rute dan waktu perjalanan yang dapat menyebabkan kesalahan dalam langkah-langkah evaluasi.

### Algoritma *Incremental Assignment* / Pembebanan Bertahap

#### Memulai

Iterasi ke – 0

1. Tentukan nilai arus = 0

#### Proses Iterasi

Iterasi ke – 1

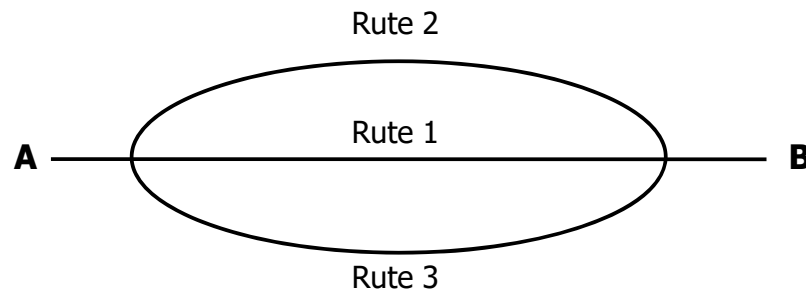
2. Tentukan fraksi pembebanan dan nilai arus nya (F)
3. Bebankan nilai arus (F) dengan metode *all or nothing*
4. Hitunglah nilai arus di setiap rute (V) yang baru  $\rightarrow V^{n+1} = V^n + F$
5. Ulangi langkah - 3

#### Iterasi Selesai

Cek apakah sudah konvergen  $\rightarrow \delta = \sum_{rute=1}^n [V_{rute} * (t_{rute} - t_{min})] / V_{total} * t_{min}$

## CONTOH 2

- Terdapat pergerakan dari A ke B sebesar 2000 kendaraan. Hitunglah arus lalu lintas di setiap ruas jalannya dengan fraksi pembebanan seragam 25 % !



- Waktu perjalanan di setiap rute adalah sebagai berikut:

$$\text{Rute 1} \rightarrow t = 10 + 0,02 * \text{Volume lalu lintas}$$

$$\text{Rute 2} \rightarrow t = 15 + 0,005 * \text{Volume lalu lintas}$$

$$\text{Rute 3} \rightarrow t = 12,5 + 0,015 * \text{Volume lalu lintas}$$

- Jawab

25 % x 2000 = 500 pergerakan di setiap iterasi dan ada 4 iterasi

Iterasi Ke -	Arus	Rute 1		Rute 2		Rute 3	
		Arus	WT	Arus	WT	Arus	WT
0	0	0	<b>10</b>	0	15	0	12,5
1	500	500	20	0	15	0	<b>12,5</b>
2	500	500	20	0	<b>15</b>	500	20
3	500	500	20	500	<b>17,5</b>	500	20
4	500	500	20	1000	<b>20</b>	500	20

$$\text{Nilai konvergensi} = 500 (20-20) + 1000 (20-20) + 500(20-20) / (2000 \times 20) = 0$$

Arus di rute 1 = rute 3 = 500 kendaraan

Arus di rute 2 = 1000 kendaraan

### 3. User Equilibrium Assignment

- Assumptions in User Equilibrium Assignment
  1. The user has perfect knowledge of the path cost.
  2. Travel time on a given link is a function of the flow on that link only.
  3. Travel time functions are positive and increasing.
- The solution to the above equilibrium conditions given by the solution of an equivalent nonlinear mathematical optimization program:

$$\begin{aligned} \text{Minimize } Z &= \sum_a \int_0^{x_a} t_a(x_a) dx, & \text{subject to } \sum_k f_k^{rs} &= q_{rs} : \forall r, s \\ x_a &= \sum_r \sum_s \sum_k \delta_{a,k}^{rs} f_k^{rs} : \forall a \\ f_k^{rs} &\geq 0 : \forall k, r, s \\ x_a &\geq 0 : a \in A \end{aligned}$$

- Where:

$k$  is the path,  $x_a$  equilibrium flows in link  $a$ ,

$t_a$  travel time on link  $a$ ,

$f_{rs}^k$  flow on path  $k$  connecting O-D pair  $r$ - $s$ ,

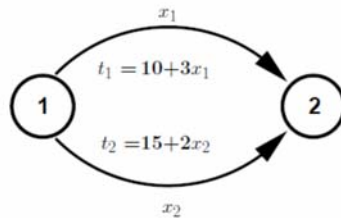
$q_{rs}$  trip rate between  $r$  and  $s$  and  $\delta_{a,k}^{rs}$  is a definitional constraint and is given by

$$\delta_{a,k}^{r,s} = \begin{cases} 1 & \text{if link } a \text{ belongs to path } k, \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$



### Example:

- Let us suppose a case where travel time is not a function of flow as shown in other words it is constant as shown in the figure below.



## 4. System Equilibrium Assignment

- The system optimum assignment is based on Wardrop's second principle, which states that drivers cooperate with one another in order to minimize total system travel time.
- This assignment can be thought of as a model in which congestion is minimized when drivers are told which routes to use.
- Obviously, this is not a behaviorally realistic model, but it can be useful to transport planners and engineers, trying to manage the traffic to minimize travel costs and therefore achieve an optimum social equilibrium.

$$\text{Minimize } Z = \sum_a x_a t_a(x_a)$$

Subject to

$$\begin{aligned} \sum_k f_k^{rs} &= q_{rs} \quad : \forall r, s \\ x_a &= \sum_r \sum_s \sum_k \delta_{a,k}^{rs} f_k^{rs} \quad : \forall a \\ f_k^{rs} &\geq 0 \quad : \forall k, r, s \\ x_a &\geq 0 \quad : a \in A \end{aligned}$$

- $x_a$  equilibrium flows in link  $a$
- $t_a$  travel time on link  $a$
- $f^{rs}_k$  flow on path  $k$  connecting O-D pair  $r$ - $s$
- $q_{rs}$  trip rate between  $r$  and  $s$ .

**Solution** Substituting the travel time in equation , we get the following:

$$\begin{aligned} \min Z(x) &= x_1 * (10 + 3x_1) + x_2 * (15 + 2x_2) \\ &= 10x_1 + 3x_1^2 + 15x_2 + 2x_2^2 \end{aligned}$$

Substituting  $x_2 = x_1 - 12$

$$\min Z(x) == 10x_1 + 3x_1^2 + 15(12 - x_1) + 2(12 - x_1)^2$$

Differentiate the above equation to zero, and solving for  $x_1$  and then  $x_2$  leads to the solution  $x_1 = 5.3, x_2 = 6.7$  which gives  $Z(x) = 327.55$

**Solution** Substituting the travel time in equation yield to

$$\begin{aligned} \min Z(x) &= \int_0^{x_1} 10 + 3x_1 dx_1 + \int_0^{x_2} 15 + 2x_2 dx_2 \\ &= 10x_1 + \frac{3x_1^2}{2} + 15x_2 + \frac{2x_2^2}{2} \end{aligned}$$

subject to

$$x_1 + x_2 = 12$$

Substituting  $x_2 = 12 - x_1$ , in the above formulation will yield the unconstrained formulation as below :

$$\min Z(x) = 10x_1 + \frac{3x_1^2}{2} + 15(12 - x_1) + \frac{2(12 - x_1)^2}{2}$$

Differentiate the above equation  $x_1$  and equate to zero, and solving for  $x_1$  and then  $x_2$  leads to the solution  $x_1 = 5.8, x_2 = 6.2$ .



## 5. Capacity Restraint Assignment

Ada dua karakteristik dasar umum untuk model batasan-kapasitas,

- Hubungan non-linear dan
- Digunakan rasio volume-kapasitas atau  $v/c$  sebagai faktor umum.

Premis yang mendasari model pengendalian kapasitas adalah bahwa waktu tempuh pada rute apapun yang berkaitan dengan volume lalu lintas pada rute tersebut. Hal ini analog dengan kriteria tingkat pelayanan (LOS), di mana LOS berkaitan dengan  $v/c$  rendah dan kecepatan kendaraan lebih tinggi. LOS tingkat E sama dengan  $v/c = 1$  merupakan batasan kapasitas.



### Fungsi Tundaan dalam *Capacity Restraint Assignment*

- Fungsi tundaan berguna dalam menentukan berapa tundaan (menit) yang terjadi akibat arus lalu lintas yang lewat pada suatu ruas jalan dengan kapasitas tertentu
- Persamaan yang digunakan (BPR, 1964):

$$t_a = t_{0a} [ 1 + 0,15 (V_a / C_a)^4 ]$$

$t_a$  : waktu tempuh pada ruas jalan  $a$

$t_{0a}$  : waktu tempuh pada ruas jalan  $a$  pada kondisi FFS

$V_a$  : arus lalu lintas pada ruas jalan  $a$

$C_a$  : kapasitas pada ruas jalan  $a$

## Algoritma dalam *Capacity Restraint Assignment*

### Memulai

1. Mulai dengan  $t_{0a}$
2. Lakukan pemilihan rute dengan metode *all or nothing*
3. Tentukan nilai  $t_a$
4. Hitung nilai  $t_a$  yang baru yaitu dari  $0,75 * t_a$  (pada langkah 3) +  $0,25 * t_{0a}$  (pada langkah 1)

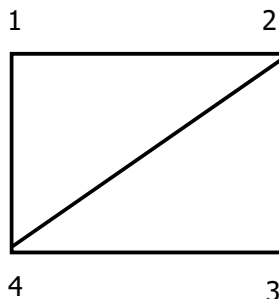
### Proses Iterasi

5. Kembali ke langkah No. 2
6. Lakukan sampai beberapa kali iterasi, kemudian arus lalu lintas di setiap link dirata-ratakan

## CONTOH 3

$$T_{13} = 100 \text{ kend/jam}$$

$$T_{24} = 100 \text{ kend/jam}$$



Link	Waktu (menit)	Kapasitas (kend/jam)
1 – 2	15	100
2 – 3	10	100
1 – 4	10	100
3 – 4	5	100
2 – 4	20	100

Hitung arus lalu lintas pada tiap ruas jalan dengan metode *capacity restraint* !



## **6. Stochastic User Equilibrium Assignment**

- User equilibrium assignment procedures based on Wardrop's principle assume that all drivers perceive costs in an identical manner.
- A solution to assignment problem on this basis is an assignment such that no driver can reduce his journey cost by unilaterally changing route.
- Van Vliet considered as stochastic assignment models, all those models which explicitly allows non minimum cost routes to be selected.
- Virtually all such models assume that drivers perception of costs on any given route are not identical and that the trips between each O-D pair are divided among the routes with the most cheapest route attracting most trips.

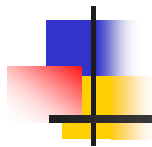


- They have important advantage over other models because they load many routes between individual pairs of network nodes in a single pass through the tree building process, the assignments are more stable and less sensitive to slight variations in network definitions or link costs to be independent of flows and are thus most appropriate for use in uncongested traffic conditions such as in off peak periods or lightly trafficked rural areas.



## **7. Dynamic Assignment**

- Dynamic user equilibrium, expressed as an extension of Wardrop's user equilibrium principle, may be defined as the state of equilibrium which arises when no driver can reduce his disutility of travel by choosing a new route or departure time, where disutility includes, schedule delay in addition in to costs generally considered.
- Dynamic stochastic equilibrium may be similarly defined in terms of perceived utility of travel.
- The existence of such equilibrium in complex networks has not been proven theoretical and even if they exist the question of uniqueness remains open.



**THANK YOU**