

# MODEL STOKASTIK UNTUK PEMBEBANAN LALULINTAS BANYAK-RUTE DENGAN MEMPERTIMBANGKAN PERBEDAAN PERSEPSI BIAYA PERJALANAN

**R. Didin Kusdian**

Lulusan S-3 Transportasi SAPPK-ITB  
Dosen STT-YPKP  
Jln. Surapati 189 Bandung  
E-mail: kusdian@yahoo.com

**Agus Salim Ridwan**

Program S-2 & S-3 Transportasi  
Sekolah Arsitektur Perencanaan dan  
Pengembangan Kebijakan (SAPPK)-ITB  
Jln. Ganesha 10 Bandung

**Ofyar Z. Tamin**

Program Pasca Sarjana ITB  
Jln. Tamansari 64 Bandung  
E-mail: ofyar@trans.si.itb.ac.id

**Ade Syafruddin**

Program Studi Teknik Sipil ITB  
Laboratorium Transportasi Teknik Sipil ITB  
Labtek I lt.2  
E-mail: ades@trans.si.itb.ac.id

## Abstrak

Analisa pembebanan jaringan sebagai teknik analisa kebutuhan-sediaan transportasi memerlukan pemodelan pemilihan rute. Model pemilihan rute yang telah banyak dipakai dan teruji keandalannya adalah model *all-or-nothing*, yang menghasilkan satu rute terbaik dimana diasumsikan semua pengguna memilih rute ini. Model *all-or-nothing* didasarkan pada asumsi semua pelaku perjalanan berpersepsi sama tentang rute terbaiknya (terpendek, tercepat atau termurah). Asumsi bahwa persepsi sama, tidak selalu benar pada kenyataan.

Usaha mendekati kenyataan dikembangkan melalui model stokastik. Model stokastik mempertimbangkan perilaku perbedaan persepsi pelaku perjalanan terhadap biaya perjalanan antar asal-tujuan didalam suatu jaringan. Dari pertimbangan adanya perbedaan persepsi biaya perjalanan dapat muncul lebih dari satu pilihan rute untuk satu pasang tempat asal dan tujuan pergerakan.

Dalam penelitian ini ditambahkan pertimbangan dalam memodelkan perbedaan biaya persepsi perjalanan, yaitu bahwa perbedaan persepsi dipengaruhi juga oleh jarak perjalanan. Semakin jauh jarak perjalanan ketidakpastian biaya perjalanan semakin melebar. Untuk itu dalam membangkitkan biaya persepsi perjalanan digunakan tidak hanya satu pendekatan sebaran, dalam penelitian ini digunakan tiga pendekatan sebaran, yaitu untuk perjalanan jarak dekat persepsi dianggap sama tanpa sebaran, untuk perjalanan jarak sedang digunakan pendekatan sebaran normal dengan parameter dispersi 15% dari rata-rata persepsi, dan untuk perjalanan jarak jauh digunakan pendekatan sebaran normal dengan parameter dispersi lebih besar yaitu 30% dari rata-rata persepsi.

Hasil percobaan menunjukkan bahwa dengan menganggap terdapat empat segmen persepsi biaya perjalanan akan memunculkan rute-rute pilihan yang berbeda dari rute yang dihasilkan dari anggapan persepsi biaya sama.

**Kata-kata kunci:** biaya jarak, biaya waktu, ongkos tol, biaya gabungan, parameter sebaran, sebaran normal, pola rute terpilih.

## PENDAHULUAN

Kebutuhan transportasi cenderung terus meningkat, hal ini terjadi di Indonesia, terutama di wilayah perkotaan. Transportasi akan menjadi kebutuhan semakin banyak orang, sejalan dengan pertumbuhan penduduk dan jumlah kendaraan. Di wilayah perkotaan intensitas transportasi relatif lebih tinggi dibandingkan daerah luar kota dengan kerapatan penduduk yang rendah.

Kajian sistem transportasi kota, akan memerlukan pemodelan untuk memperkirakan gerakan. Gerakan yang dimaksud adalah gerakan orang atau barang dengan menggunakan kendaraan diatas jalan dari asal ke tujuan. Pada suatu interval waktu

kejadian gerakan yang telah diperkirakan itu berlangsung serentak dimasing-masing ruas pada jaringan jalan.

Pada interval waktu itu gerakan yang terjadi di ruas jalan dapat dinyatakan dengan besaran volume ruas. Pada konteks waktu masa datang volume lalu lintas tersebut, didapat dari hasil perkiraan melalui pemodelan termasuk model pembebanan lalu lintas. Perkiraan volume lalu lintas ini berguna sekali untuk perencanaan sistem jaringan jalan dan manajemen lalu lintas. Perencanaan bersifat antisipasi terhadap kemungkinan yang mungkin terjadi di masa datang, baik jangka pendek, jangka menengah maupun jangka panjang. Pengembangan riset pemodelan pemilihan rute memegang peranan penting dalam pengembangan pemodelan transportasi untuk kepentingan perencanaan sistem transportasi yang efektif dan efisien.

Dalam kajian sistem transportasi kota diperlukan penyusunan prosedur perhitungan untuk menganalisa hubungan antara kebutuhan transportasi dan penyediaan sistem transportasi. Kebutuhan transportasi yang dimaksud adalah jumlah gerakan orang atau barang dengan menggunakan kendaraan diatas jalan dari asal ke tujuan. Sedangkan penyediaan adalah penambahan atau pengaturan pemakaian ruas jalan yang menyatu dalam jaringan jalan.

Dari sisi kebutuhan akan diperlukan suatu perkiraan jumlah dan pola sebaran terhadap ruang. Hal ini akan termasuk sebaran perilaku. Sisi penyediaan menyangkut sifat fisik dan sebaran ruang. Kajian dilakukan simultan dari dua sisi tersebut.

Sebagai bagian detail dari pemodelan prosedur perhitungan kajian kebutuhan-penyediaan transportasi diatas adalah pemodelan biaya perjalanan. Biaya perjalanan sangat dipengaruhi oleh persepsi masing-masing pelaku perjalanan. Diperlukan suatu kajian untuk mendapatkan rumusan biaya perjalanan yang dapat digunakan untuk kajian kebutuhan-penyediaan dalam kajian sistem. Kajian rumusan biaya perjalanan akan lebih baik jika menyertakan faktor persepsi yang terjadi dalam kenyataan.

## **MODEL STOKASTIK PEMILIHAN RUTE**

Pada model pemilihan rute *all-or-nothing*, Pemakai jalan secara rasional memilih rute terpendek yang meminimumkan hambatan transportasi (jarak, waktu, dan biaya). Semua lalu lintas antara zona asal dan tujuan menggunakan rute yang sama dengan anggapan bahwa pemakai jalan mengetahui rute yang tercepat tersebut. Dengan kata lain, pemakai jalan mengetahui rute terpendek yang meminimumkan waktu tempuh dan semuanya menggunakan rute tersebut, tidak ada yang menggunakan rute lain. Pembebanan *all-or-nothing* menghasilkan hanya satu rute yang terbebani arus lalu lintas, untuk setiap pasangan asal-tujuan. (Tamin, 2000).

Pemilihan rute dapat dimodelkan dengan mempertimbangkan efek stokastik, yaitu adanya kemungkinan perbedaan persepsi diantara para pelaku perjalanan. Ortuzar (1994) menuliskan bahwa teknik simulasi Monte Carlo dapat merepresentasikan keragaman persepsi pengemudi tentang biaya (waktu tempuh) per ruas-ruas jalan. Kemudian pengembangan model Burrell dijabarkan seperti dijelaskan kembali dalam Tamin (2000). Dasar pengembangan model Burrell diawali dengan usaha membedakan antara biaya objektif yang ditentukan pengamat atau pemodel, dan biaya persepsi yang diperkirakan oleh kelompok pelaku perjalanan (pada model *all-or-nothing* hanya satu persepsi, tidak ada sebaran persepsi), dengan asumsi ada perilaku sebaran persepsi.

## Pengembangan Model Stokastik Pemilihan Rute

Model pemilihan rute yang mempertimbangkan adanya perbedaan persepsi biaya perjalanan dapat dibentuk dengan menggunakan suatu sebaran untuk membangkitkan nilai persepsi biaya dari nilai objektif biaya yang diberlakukan sebagai rata-rata dari sebaran persepsi biaya. Bentuk sebaran yang dapat digunakan bisa disesuaikan dengan pengamatan awal data persepsi, atau melalui suatu asumsi misalnya digunakan sebaran merata atau sebaran normal (Kusdian *et. al.*, 2005).

Setiap pengguna jalan dimungkinkan memiliki cara berbeda dalam cara pandang terhadap biaya perjalanan antara tempat asal sampai tujuan. Diantara yang berbeda-beda ini lalu dikelompokkan menjadi beberapa segmen, dimana dalam satu segmen persepsinya dianggap sama, sedangkan antar segmen berbeda. Pembentukan segmen ini akan berguna untuk tujuan analisa perkiraan jumlah beban lalu lintas yang menggunakan masing-masing ruas pada jaringan jalan.

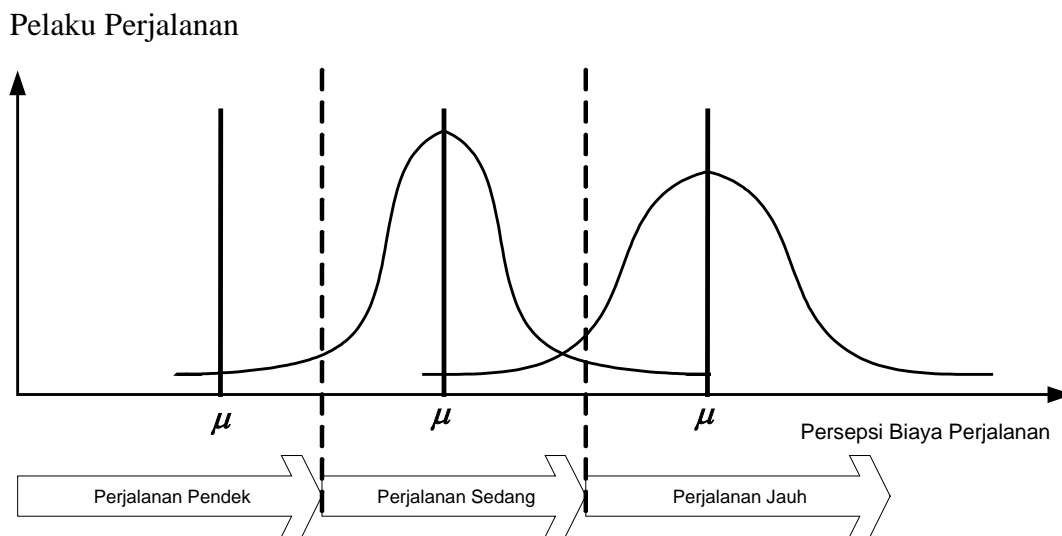
Tambahan pertimbangan yang menjadi kekhususan penelitian ini adalah bahwa pola perbedaan persepsi yang digambarkan oleh model distribusi persepsi, dipengaruhi oleh jarak perjalanan. Semakin dekat jarak akan semakin mudah diperkirakan biayanya dan hampir semua orang memilih jalan dengan jarak tersebut. Semakin jauh jarak akan semakin tidak mudah memperkirakan besaran jarak tersebut atau biaya perjalanan yang diperlukan untuk menempuhnya, sehingga orang akan berbeda-beda perkiraannya. Perbedaan perkiraan inilah yang disebut perbedaan persepsi. Perbedaan persepsi berdasarkan jarak ini kemudian dimodelkan untuk memungkinkan analisis numerik. Cara yang digunakan adalah dengan memodelkannya dalam model matematis distribusi statistik dengan gradasi dispersi.

Dispersi dikodekan sebagai penyimpangan dari suatu nilai rata-rata, dimana besarnya penyimpangan diberikan dalam prosentase dari nilai rata-rata. Nilai rata-rata dari persepsi biaya perjalanan adalah nilai objektif atau nilai biaya perjalanan menurut sudut pandang penganalisa.

Biaya perjalanan objektif untuk tiap ruas jalan dihitung dengan cara menjumlahkan biaya bahan bakar, biaya waktu dan ongkos tol. Untuk jalan yang bukan jalan tol ongkos tol adalah nol. Yang dimaksud biaya waktu adalah waktu tempuh dikalikan dengan nilai waktu, dimana nilai waktu adalah suatu faktor untuk mengkonversi waktu kedalam satuan biaya atau uang. Dalam penelitian disertasi ini nilai waktu didekati dengan nilai waktu kerja pemilik kendaraan pribadi pengguna jalan tol yang menjadi responden survey, yaitu jumlah rata-rata penghasilan per bulan dibagi jam kerja per bulan, lalu dirata-ratakan.

Untuk analisis pemilihan rute dalam suatu jaringan, biaya perjalanan antar asal tujuan dihitung melalui jumlah biaya ruas yang dilewati, dimana pada proses numerik dilakukan pembatasan jumlah ruas yang dilewati, proses pemilihan lintasan terbaik dilakukan dengan menggunakan algoritma Dijkstra (Bell dan Iida, 1997). Penggambaran adanya perbedaan persepsi biaya perjalanan diproses melalui perbedaan persepsi biaya melintasi ruas jalan. Ruas-ruas jalan dalam jaringan dibagi menjadi kelompok pendek, sedang dan jauh. Perbedaan persepsi dipolakan dari biaya objektif dan parameter sebaran dalam prosentase biaya objektif. Dalam hal ini biaya objektif dianggap sebagai rata-rata biaya persepsi. Untuk kelompok ruas pendek parameter dispersi diberi nilai nol, untuk ruas sedang parameter dispersi 15% dari biaya objektif dan untuk ruas panjang 30% dari biaya objektif. Model distribusi yang digunakan adalah distribusi normal. Setiap distribusi persepsi dibagi menjadi empat segmen persepsi, masing-masing akan memiliki nilai biaya persepsi berbeda. Pencarian rute terpilih menggunakan metoda minimisasi biaya perjalanan

untuk setiap zona asal ke semua zona tujuan. Putaran hitungan pencarian rute dilakukan per segmen persepsi. Lihat Gambar 1 dan Gambar 2.



**Gambar 1** Model Sebaran Biaya Persepsi Berdasarkan Jarak

### Algoritma Model

Selanjutnya konsep pengembangan model stokastik pemilihan rute dapat dijabarkan dalam algoritma yang secara garis besar dapat dijelaskan sebagai berikut:

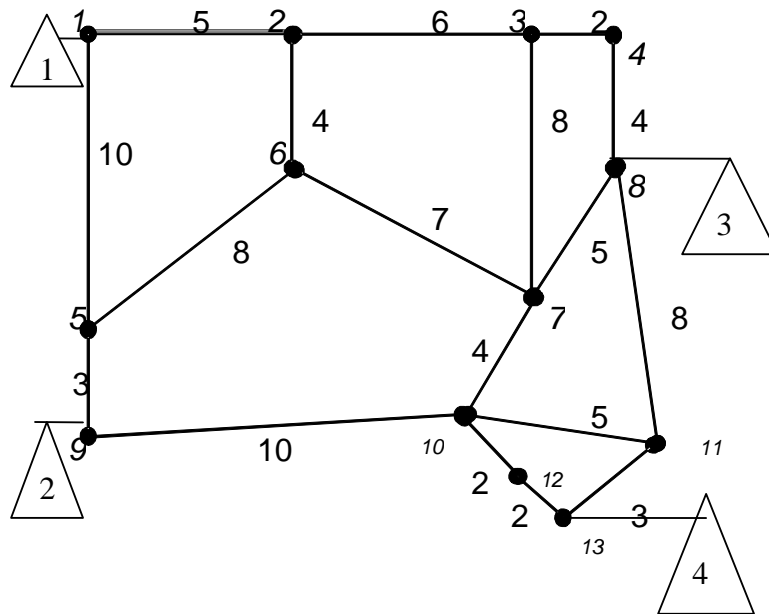
- (1) Dari satu tempat asal ke berbagai/semua tempat tujuan dalam jaringan: hitung biaya perjalanan untuk masing-masing ruas, hitung biaya perjalanan termurah untuk setiap pasangan asal tujuan, dengan anggapan persepsi biaya perjalanan sama (didekati dengan biaya perjalanan setiap ruas sama bagi semua orang, tidak ada sebaran persepsi).
- (2) Perjalanan dari satu tempat asal ke berbagai/semua tempat tujuan dalam jaringan dibagi menjadi 3 kelompok yaitu perjalanan pendek, perjalanan jarak jauh, dan perjalanan jarak jauh dengan cara: cari jarak terpendek atau biaya termurah, cari jarak terpanjang atau biaya termahal, cari rentang atau interval antara biaya termurah dan termahal, bagi rentang menjadi 3 bagian yang sama, tentukan batas kelompok perjalanan pendek yaitu jarak terpendek ditambah 1 bagian rentang, tentukan batas kelompok perjalanan sedang dengan perjalanan panjang yaitu batas perjalanan pendek ditambah lagi 1 bagian interval.

Sehingga terdapat 3 kondisi:

- (1) Jika biaya perjalanan lebih besar atau sama dengan biaya perjalanan terpendek dan lebih kecil dari biaya perjalanan terpendek ditambah satu bagian interval maka perjalanan akan termasuk pada perjalanan pendek. Jarak atau biaya perjalanannya mudah diperkirakan bagi semua orang, persepsi semua orang tentang jarak terpendek atau biaya termurah cenderung sama tanpa sebaran.
- (2) Jika biaya perjalanan lebih besar atau sama dengan biaya perjalanan terpendek ditambah satu bagian interval dan lebih kecil dari biaya perjalanan termurah ditambah dua bagian interval, maka perjalanan akan termasuk pada perjalanan menengah.

Perkiraan biaya perjalanan dan biaya termurah bagi para pelaku perjalanan berbeda. Untuk kelompok ini dimisalkan mengikuti suatu sebaran dengan paramater dispersi yang lebih kecil dari kelompok perjalanan jarak jauh. Misalkan dispersi 15% dari nilai rataan, dengan sebaran normal.

- (3) Jika biaya perjalanan lebih besar atau sama dengan biaya perjalanan termurah ditambah dua bagian interval dan lebih kecil dari biaya perjalanan terpanjang, maka perjalanan akan termasuk pada perjalanan panjang atau mahal. Semakin jauh jarak perjalanan akan semakin menyebar persepsi tentang biaya perjalanan dan biaya termurah antar asal-tujuan. Untuk kelompok perjalanan jauh, persepsi biaya perjalanan dimisalkan mengikuti sebaran normal dengan dispersi lebih besar dari kelompok perjalanan menengah, misalkan 30% dari nilai rataan.



**Gambar 2** Geometrik Data Jaringan Jalan

Penggunaan distribusi normal standar (dengan rataan  $\mu=0$  dan deviasi standar  $\sigma = 1$ ) untuk membangkitkan sebaran biaya persepsi perjalanan dari rataan biaya persepsi perjalanan yang telah tertentu, dapat dilakukan melalui transformasi *Box-Muller* (Kusdian *et al*, 2005). Penurunan menghasilkan persamaan transformasi seperti pada persamaan 1 di bawah ini.

$$s = ((-2\ln(R_1))^{1/2} \cdot \cos 2\pi R_2 \quad (1)$$

dengan  $R_1$  dan  $R_2$  adalah 2 bilangan acak dari distribusi bilangan acak seragam dalam rentang (0,1), dan  $s$  adalah sampel yang didapat atau diinginkan dari sebaran normal standar.

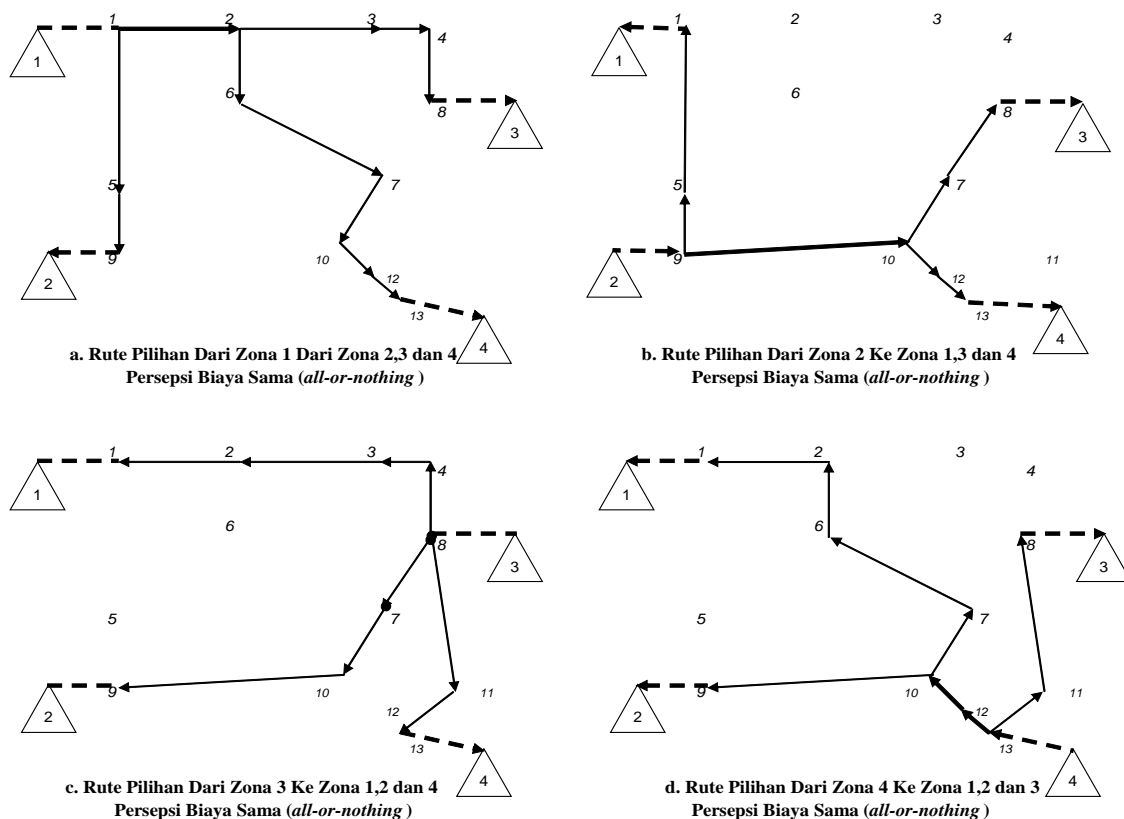
Selanjutnya, hasil persamaan transformasi ini,  $s$ , dapat digunakan untuk pengambilan sampel acak  $c$ , dari suatu sebaran normal peubah acak  $C$  dengan nilai rataan  $\bar{c}$  dan deviasi standar ( $\sigma = p\bar{c}$ ) tertentu, melalui persamaan 2.

$$c = \sigma \cdot s + \bar{c} \quad (2)$$

Pada penggunaan sebaran normal standar untuk membangkitkan biaya persepsi perjalanan, dengan menggunakan 4 segmen pembagian persepsi, masing-masing segmen persepsi nilai biayanya dapat dibangkitkan melalui bilangan acak normal untuk segmen 1 sampai segmen 4 berturut-turut:  $s \leq -1$ ,  $-1 < s \leq 0$ ,  $0 < s \leq 1$ , dan  $s > 1$ . Masing-masing dengan porsi beban: 15.87%, 33.47%, 33.47% dan 15.87 % berturut-turut.

### Percobaan Model

Tahap awal implementasi model adalah mengkodekan algoritma kedalam program komputer, penelitian ini menggunakan pengkodean dengan bahasa FORTRAN. Tahap berikutnya dilakukan percobaan model pemilihan rute stokastik dengan sebaran persepsi biaya perjalanan mempertimbangkan jarak perjalanan, untuk mengetahui pola pemilihan rute pada jaringan jalan contoh seperti pada Gambar 2. Jaringan jalan contoh ini terdiri dari 13 titik simpang jalan (digambarkan dengan titik), 18 ruas jalan (digambarkan dengan garis) dan 4 tempat asal-tujuan perjalanan (digambarkan dengan segitiga).

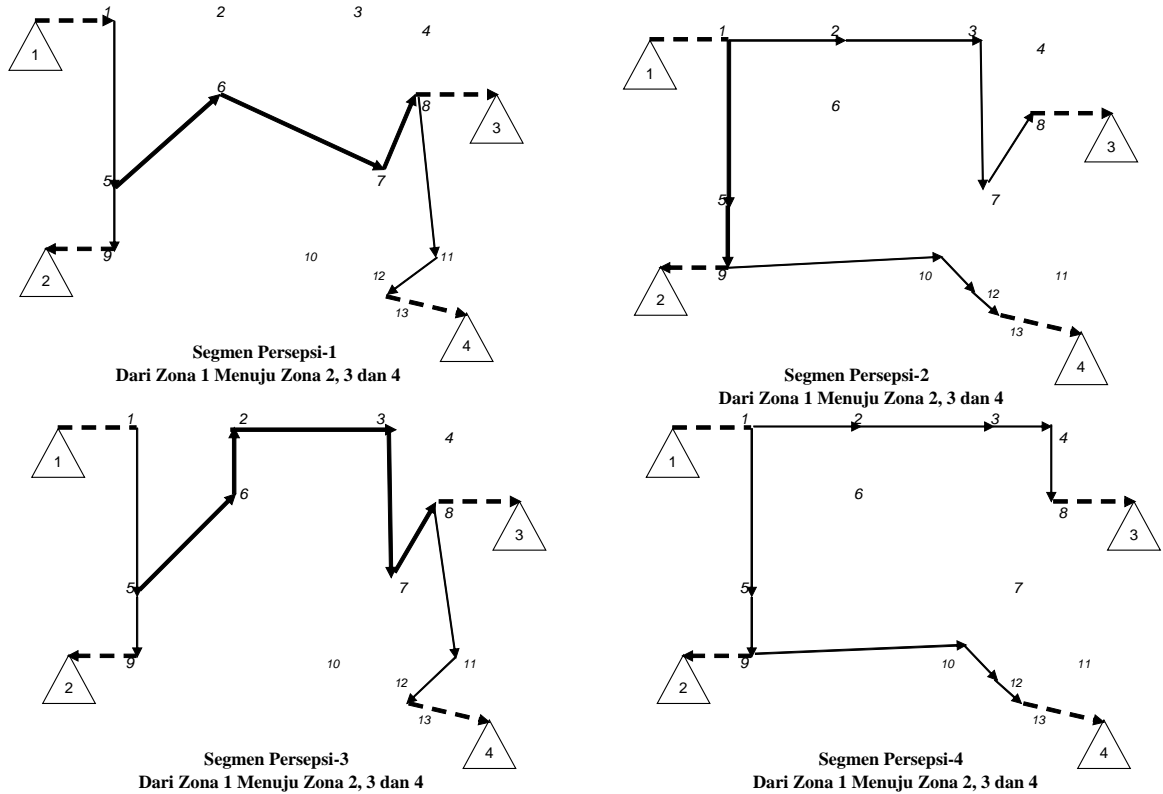


Gambar 3 Pola Rute Pilihan Dari Tiap Zona Ke Semua Zona Untuk Persepsi Biaya Perjalanan Sama (*all-or-nothing*)

### HASIL PERCOBAAN DAN PEMBAHASAN

Dengan menganggap persepsi biaya perjalanan sama untuk semua pengguna jalan dalam memandang seluruh ruas dalam jaringan tanpa melihat perbedaan panjang ruas, pola hasil rute pilihan dengan menggunakan algoritma Dijkstra, adalah seperti pada Gambar 3. Dengan pembagian 4 segmen persepsi pada model pemilihan rute stokastik yang dikembangkan, dimana biaya persepsi perjalanan dibangkitkan dengan sebaran berbeda untuk kelompok panjang ruas pendek, sedang dan panjang, sementara untuk pencarian rute biaya minimum menggunakan algoritma yang sama yaitu algoritma Dijkstra, dihasilkan

masing-masing 4 pola rute pilihan untuk setiap perjalanan dari satu zona asal ke semua zona tujuan. (Pada model persepsi biaya sama hanya ada 1 pola rute pilihan untuk setiap perjalanan dari satu zona asal ke semua zona tujuan). Pola-pola rute pilihan hasil percobaan dengan model stokastik pemilihan rute berdasarkan jarak perjalanan, dapat dilihat pada Gambar 4, 5, 6, dan 7.



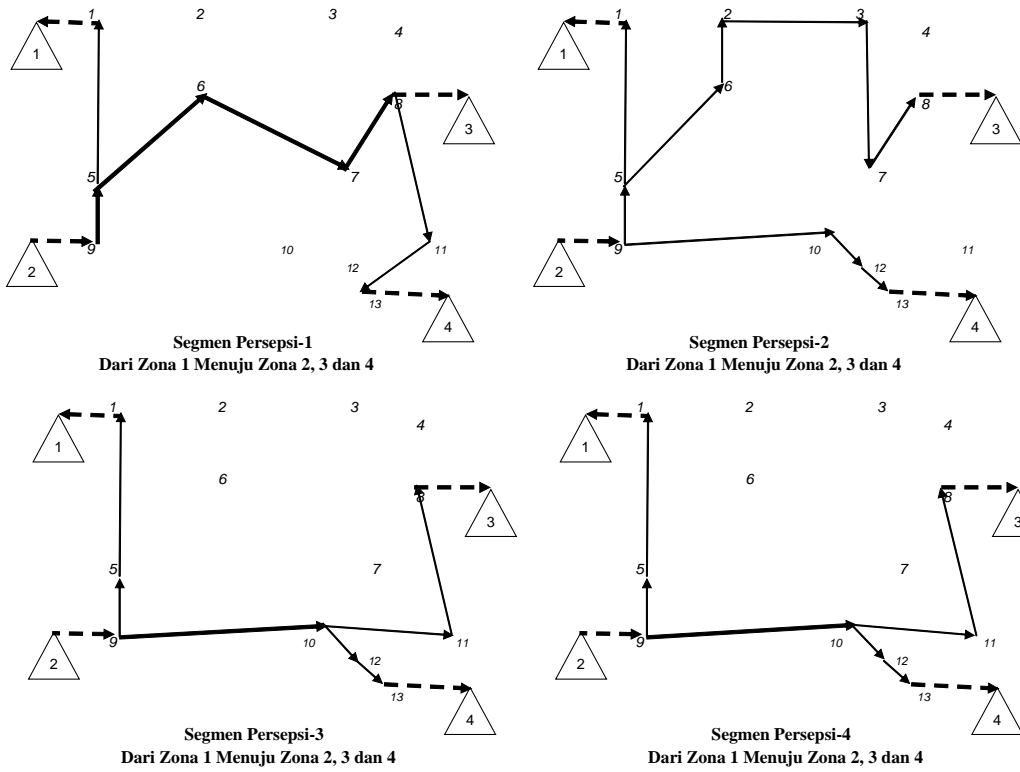
Gambar 4 Pohon Dari Zona 1 ke Zona 2, 3 dan 4 Model Sebaran Berdasarkan Jarak Perjalanan

### Pembebanan *All-or-Nothing*

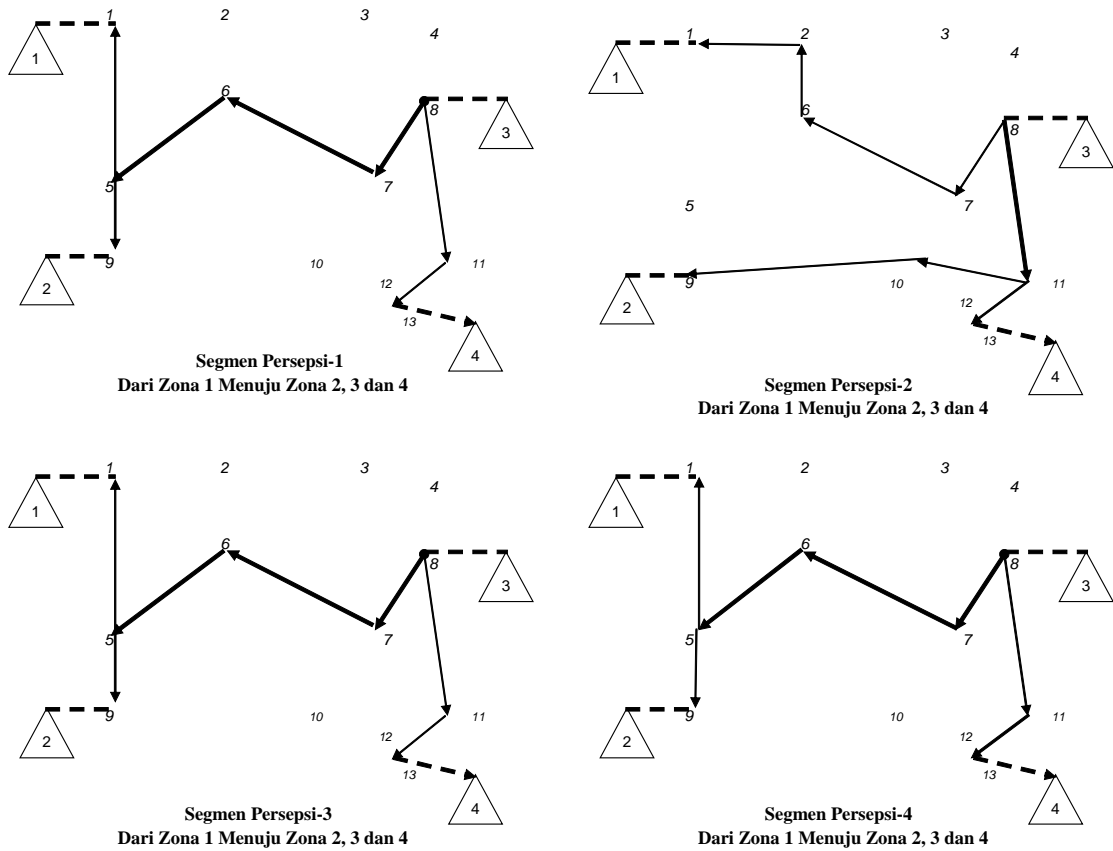
Jika pembebanan menggunakan asumsi persepsi biaya perjalanan sama maka untuk setiap zona asal ke semua zona tujuan hanya ada satu persepsi biaya dan hanya ada satu pilihan rute untuk setiap pasang zona asal-tujuan.

### Pembebanan Distribusi Normal 4 Segmen

Dengan mendekati persepsi biaya perjalanan menjadi 4 segmen persepsi yang masing-masing segmen kemungkinan kejadiannya mengikuti luasan dibawah kurva normal standar, dengan batasan nilai pembangkit biaya persepsi (dari kurva normal standar)  $s$  seperti dijelaskan pada bagian 6 diatas. Porsi beban setiap segmen adalah besarnya peluang kejadian masing-masing segmen dikalikan besarnya kebutuhan pergerakan untuk setiap pasangan asal-tujuan.

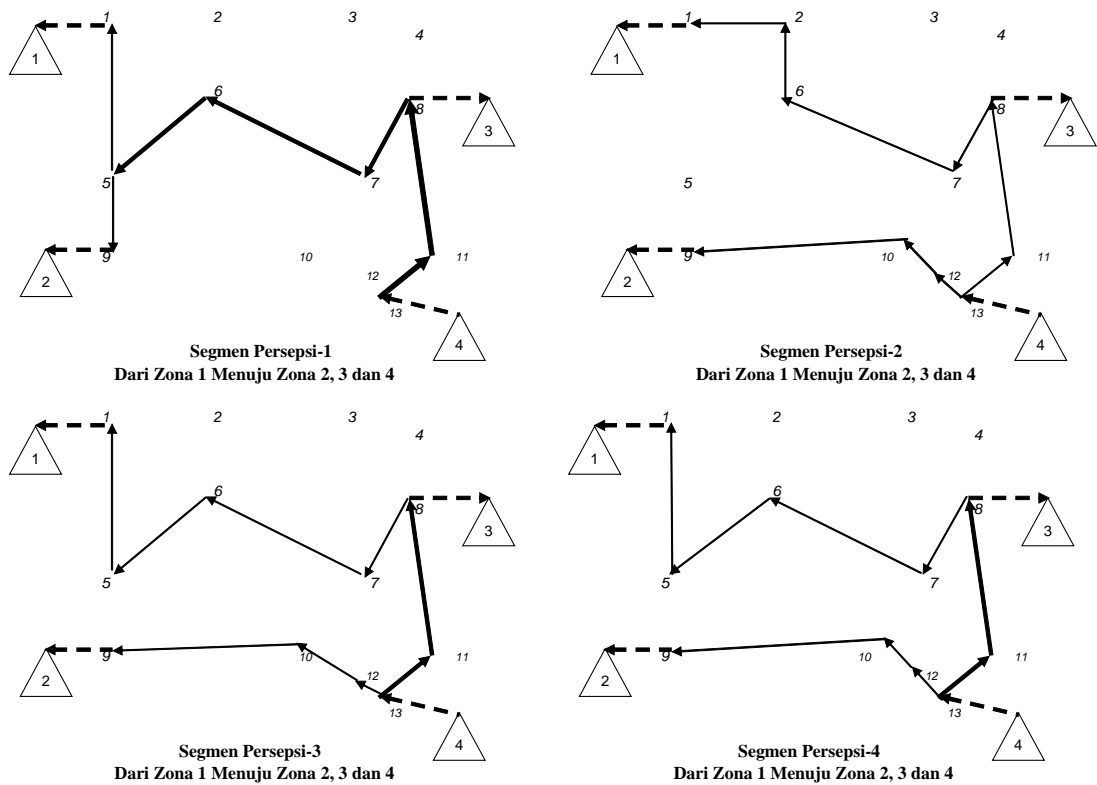


Gambar 5 Pohon Dari Zona 2 ke Zona 1, 3 dan 4 Model Sebaran Berdasarkan Jarak Perjalanan



Gambar 6 Pohon Dari Zona 3 ke Zona 1, 2 dan 4 Model Sebaran Berdasarkan Jarak Perjalanan





**Gambar 7** Pohon Dari Zona 4 ke Zona 1, 2 dan 3 Model Sebaran Berdasarkan Jarak Perjalanan

### Analisis Hasil Percobaan Model

Untuk tujuan analisa perbandingan hasil dalam penelitian ini dilakukan juga percobaan model pemilihan rute stokastik tanpa mempertimbangkan perbedaan pola sebaran sesuai jarak perjalanan, yaitu dengan satu sebaran. Sebaran yang digunakan adalah sebaran merata dan sebaran normal, masing-masing dengan memberikan dua parameter dispersi yaitu 15% dari nilai rata-rata dan 30% dari nilai rata-rata.

Pemodelan biaya persepsi perjalanan dengan menggunakan sebaran normal parameter sebaran 15% dan 30% dari nilai rata-rata menghasilkan pola pohon rute biaya minimum yang sama untuk percobaan perhitungan dengan pembagian 4 segmen pada jaringan contoh. Tetapi berbeda dengan pola rute terpilih yang dihasilkan model tanpa sebaran persepsi biaya perjalanan (*all-or-nothing*).

Sedangkan jika digunakan anggapan persepsi biaya perjalanan yang mengikuti model sebaran merata dengan parameter dispersi 15% dan 30% dari nilai rata-rata ternyata menghasilkan pola rute terpilih berbeda, yaitu pada pohon biaya rute minimum segmen 1 dari zona 3.

Hasil percobaan model yang mempertimbangkan perbedaan persepsi biaya perjalanan dipengaruhi jarak perjalanan, atau model sebaran gabungan, pola rute yang terpilih pada jaringan contoh untuk segmen-1 sama dengan pola rute terpilih yang dihasilkan oleh model persepsi sebaran normal, sedangkan pola rute terpilih untuk segmen-2 dari semua zona, segmen-3 dari semua zona dan segmen-4 dari zona 1,2 dan zona 3 berbeda dengan pola rute terpilih hasil model persepsi biaya sebaran normal, sebaran merata maupun model *all-or-nothing*. Khusus Untuk segmen-4 dari zona 4 rute sama dengan hasil sebaran normal.

## KESIMPULAN

Dari hasil percobaan dan analisisnya dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- (1) Upaya menganalisa perkiraan pola pemilihan rute pergerakan kendaraan diatas suatu jaringan jalan, akan dapat lebih dekat dengan kenyataan jika dipertimbangkan adanya perbedaan persepsi biaya perjalanan diantara para pengguna jalan.
- (2) Perbedaan persepsi diantara para pengguna jalan dapat dianalisis melalui tambahan pertimbangan bahwa perbedaan persepsi mengikuti pola sebaran berbeda sesuai jarak perjalanan.
- (3) Hasil percobaan menunjukkan bahwa dengan menganggap terdapat empat segmen persepsi biaya perjalanan akan memunculkan rute-rute pilihan yang berbeda dari rute yang dihasilkan dari anggapan persepsi biaya sama.
- (4) Pertimbangan adanya perbedaan persepsi biaya perjalanan diantara pengguna jalan akan memungkinkan model untuk lebih mendekati pada realitas dari proses pemilihan rute para pengguna jalan diatas suatu sistem jaringan jalan, mengingat sifat manusia yang tidak selalu sama persepsinya tentang sesuatu, dalam hal ini adalah biaya perjalanan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Bell, M.G.H. dan Iida, Y., (1997), *Transportation Network Analysis*, John Wiley & Sons.
- Kusdian, R.D., Tamin, O.Z., Ridwan, A.S., dan Sjafruddin, A., (2005) : Penggunaan Distribusi Normal Dalam Memodelkan Persepsi Biaya Perjalanan, *Prosiding Simposium VIII Forum Studi Transportasi Antar Perguruan Tinggi (FSTPT)*, Universitas Sriwijaya, Palembang.
- Ortuzar, J.D. dan Willumsen, L.G. (1994): *Modelling Transport*, John Wiley & Sons Ltd., England.
- Tamin, O.Z. (2000) : *Perencanaan dan Pemodelan Transportasi*, edisi 2, Penerbit ITB, Bandung.