

PENENTUAN RUTE TERPENDEK PADA SISTEM TRANSPORTASI BERBASIS DAYA COGNITIF MANUSIA

Sutanto Soehodho

Jurusan Sipil, Fakultas Teknik Universitas Indonesia

Depok 16424

E-mail : tanto@eng.ui.ac.id

ABSTRAK

Makalah ini mencoba mengembangkan suatu konsep yang memanfaatkan proses penalaran manusia pada komputer dalam penentuan rute terpendek dari suatu jaringan transportasi. Proses ini diilustrasikan pada contoh dimana seseorang pemakai kendaraan umum (mis. kereta api, bus) yang akan melakukan perjalanan dari suatu titik asal ke suatu titik tujuan. Dengan mempelajari peta jaringan angkutan umum, maka biasanya ia akan dapat menentukan rute terpendek dalam menempuh perjalanan tersebut. Dengan aplikasi tersebut hasil rute terpendek yang terpilih cukup mendekati rute yang optimal dengan waktu penentuan yang cukup singkat. Konsep penalaran yang demikian dapat dipilah menjadi 4 tahapan : a) Pengenalan jaringan transportasi; b) Penyederhanaan bentuk jaringan; c) Pelacakan rute terpendek pada jaringan sederhana; d) Pelacakan rute terpendek pada jaringan sebenarnya dengan memanfaatkan rute sementara pada tahap c). Sejalan dengan penalaran untuk dapat diimplementasikan ke dalam bentuk program komputer dan algoritma yang dikembangkan dibatasi hanya untuk satu simpul asal dan satu simpul tujuan. Konsep ini dapat dikembangkan untuk menentukan rute dari satu simpul asal ke banyak simpul tujuan, bila diimplementasikan pada komputer berbasis paralel prosesor. Juga perlu dikembangkan suatu tahapan yang dapat mentransformasikan suatu bentuk jaringan yang direpresentasikan oleh simpul, ruas dan kinerja ruas ke bentuk jaringan dengan besaran koordinat.

1. PENGANTAR

Secara alamiah setiap individu yang akan melakukan suatu perjalanan pasti akan memilih rute yang terpendek atau dengan kata lain rute yang baik dalam konteks waktu atau biaya. Konsep rute terpendek ini sangat besar sekali manfaatnya bagi jaringan transportasi, khususnya transportasi darat, baik itu jaringan jalan raya maupun sistem angkutan umum. Rute terpendek dapat dibedakan untuk setiap individu, karena dalam menentukan rute terpendek ini segala pengetahuan dan informasi tentang jaringan jalan/transportasi yang dimiliki oleh setiap individu memegang peranan penting. Telah banyak algoritma untuk menentukan rute terpendek dikembangkan, seperti algoritma Moore, Djakstra, D'esopo dan lain sebagainya (1,2,3). Berbagai algoritma tersebut telah terbukti cukup efektif. Sejalan dengan berkembangnya penggunaan

teknik kecerdasan buatan (Artificial Intelligence), potensi penggunaan teknik ini untuk membantu dalam penentuan rute optimal dari suatu sistem jaringan transportasi cukup besar karena pendekatan yang bersifat heuristik dapat dilakukan. Hal ini dapat diilustrasikan pada situasi dimana seorang penumpang kendaraan umum harus menentukan rute terpendek diambil untuk menempuh perjalanan dari suatu titik ke titik lain, dengan petunjuk sebuah peta jaringan angkutan umum. Pada kondisi tersebut umumnya seseorang akan menentukan rute terpendek secara visual dan seringkali mendapatkan rute yang memang terpendek. Pendekatan si penumpang kendaraan umum tersebut tampak sederhana namun dapat dikatakan menghasilkan suatu keputusan yang dekat dengan nilai optimal. Peran proses

informasi penumpang tersebut dalam kaitannya dengan kecerdasan buatan sangat efektif dalam penentuan rute optimal sampai pada tingkat akurasi tertentu, dan dilain pihak proses tersebut dapat dilakukan dengan cepat dan murah.

2. PEMBEBANAN JARINGAN TRANSPORTASI (NETWORK ASSIGNMENT)

Salah satu masalah terbesar yang dihadapi oleh perencana transportasi ataupun perencana kota adalah memprakirakan dampak dari skenario perencanaan transportasi. Secara analitis masalah ini dapat dibagi dalam dua tahap : a) menjabarkan suatu skenario kedalam bentuk matematis yang merupakan masukan dalam proses prakiraan pola arus lalu-lintas akibat skenario tersebut serta ; b) menggunakan pola arus lalu-lintas yang diperoleh untuk menghitung beberapa parameter seperti tingkat pelayanan, karakteristik operasi, dampak eksternal dan kesejahteraan sosial.

Tahapan untuk menentukan pola arus lalu-lintas pada jaringan transportasi dikenal dengan nama pembebanan jaringan (network assignment) yang merupakan tahap akhir dari proses perencanaan transportasi. Pada tahap ini jumlah pelaku perjalanan (orang & barang) dialokasikan pada rute yang menghubungkan titik asal dan titik tujuan perjalanan mereka. Penetapan dari rute itu sendiri sangat tergantung dari kinerja dari setiap ruas jalan yang dilalui. Secara prinsip, tahapan ini akan diawali dengan penentuan rute terpendek (dalam konteks waktu dan/atau biaya). Setelah didapat rute yang terbaik/terpendek, kemudian lalu-lintas dialokasikan pada rute tersebut. Berikut ini akan dijelaskan suatu paradigma yang dapat digunakan dalam menentukan rute terpendek dengan berbasis pada kemampuan kognitif manusia, serta bagaimana paradigma tersebut diturunkan secara formal dalam bentuk algoritma.

3. PROSES PENALARAN MANUSIA DALAM PENENTUAN RUTE TERPENDEK

Bila seseorang yang akan melakukan perjalanan diberikan suatu peta jaringan jalan atau jaringan angkutan umum dengan skala

tertentu, dimana peta tersebut tidak memuat informasi lain kecuali simpul dan ruas serta skala dari peta. Maka secara alamiah dia akan mencari rute yang terpendek dari simpul asal ke simpul tujuan. Pertimbangan yang mendasari keputusan dalam pemilihan rute tersebut dapat berupa informasi kondisi meda, kondisi lalu-lintas, kenyamanan, kemudian dari rute yang akan dipilih. Dengan berbasis pada informasi tersebut seseorang tadi akan bergerak menjauhi titik asal dan pada saat yang bersamaan memperhitungkan semakin dekatnya dia pada titik tujuan.

Dengan proses penentuan rute tersebut maka jelas bahwa keakuratan pilihan rute akan sangat dipengaruhi oleh kemampuan visual individu dalam membaca peta jaringan dan juga informasi serta pengetahuan lain yang dimilikinya. Hal ini mengisyaratkan bahwa rute terpilih tidak harus merupakan rute terpendek/terbaik (waktu/biaya), namun dapat dikatakan penentuan diputuskan dalam tempo yang cukup singkat tanpa melakukan proses numerik atau analisis yang kompleks. Dengan demikian seolah terjadi kompensasi antara waktu penentuan rute dengan tingkat akurasi rute yang dimaksud.

3.1. Metodologi

Berangkat dari penjelasan di atas dan kendala-kendala yang dialami metoda konvensional, maka konsep penalaran di atas dicoba untuk diinterpretasikan ke dalam suatu bentuk konsep algoritma yang dapat diimplementasikan ke dalam program komputer. Karena keterbatasan kemampuan, maka proses penalaran dari beberapa faktor yang berbeda yang diproses secara bersamaan perlu dipilah-pilah menjadi beberapa tahapan (algoritma) sehingga dapat diimplementasikan ke dalam suatu bentuk pemrograman. Untuk memudahkan persoalan, diperlukan beberapa penyederhanaan dan asumsi-asumsi berikut :

- Peta jaringan merupakan peta yang 'undistorted'
- Bentuk ruas selalu garis lurus
- Ruas berbentuk lengkung ditransformasikan ke bentuk garis lurus dengan bantuan simpul imajiner
- Setiap simpul memiliki koordinat (kartesius)

- Bentuk peta jaringan sudah merepresentasikan fungsi kinerja dari ruas
- Penentuan rute hanya berdasarkan koordinat setiap simpul

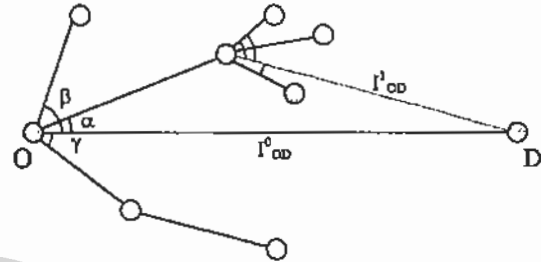
Berdasarkan ke enam asumsi di atas, maka bentuk jaringan yang tidak linier (lengkung), kondisi medan yang bergunung/berbukit dan kondisi lalu-lintas dapat diatasi. Pemilahan dari proses penalaran tersebut adalah :

- ✓ Penentuan rute-rute yang menghubungkan simpul asal dengan simpul tujuan
- ✓ Penyederhanaan bentuk jaringan
- ✓ Eliminasi terhadap simpul dan ruas yang menjauhi (berlawanan arah) arah simpul tujuan
- ✓ Penentuan batas-batas untuk proses pelacakan pada arah simpul asal tujuan
- ✓ Pelacakan rute terpendek

Kelima tahapan di atas secara prinsip dapat diterjemahkan dalam bentuk modul-modul yang terpisah ke dalam suatu program komputer dan urutan dari proses penalaran tidak mutlak mulai dari nomor terkecil. Akan tetapi karena keterbatasan kemampuan dari komputer, dalam menentukan algoritma rute terpendek ketiga proses diatas tidak bisa diadaptasi secara langsung dalam bentuk modul-modul program. Hal ini timbul karena adanya kontradiksi antara proses tahap (1) dengan proses tahap (3) dan (4). Hal ini dapat dijelaskan sebagai berikut : Bila tahapan dimulai dari proses eliminasi kemudian dilanjutkan pada proses penentuan batas-batas (boundary) daerah pelacakan, maka timbul peluang simpul dan ruas yang terpilih tidak terhubung dengan simpul tujuan, dan begitu pula sebaliknya. Dengan demikian maka proses eliminasi dan proses penentuan batas tidak dapat dilakukan.

Dari pembahasan di atas tersirat adanya kendala pada arah pelacakan dan keterhubungan simpul asal-tujuan. Untuk mengakomodasikan kendala-kendala ini maka besaran koordinat tiap simpul mutlak diperlukan, sehingga pendekatan yang dapat memenuhi ketiga proses penalaran di atas adalah memanfaatkan metoda jarak dalam bentuk garis lurus imajiner yang menghubungkan tiap simpul dengan tujuan. Konsep 'garis lurus imajiner' ini dapat dijelaskan sebagai berikut. Pada proses

pelacakan rute terpendek, pertama dibuat garis lurus imajiner antara simpul asal dengan simpul tujuan dengan memanfaatkan koordinat masing-masing. Kemudian dicari besarnya sudut antara ruas yang menghubungkan secara langsung simpul asal dan simpul lainnya terhadap garis lurus imajiner. Ruas yang membentuk sudut terkecil dapat dianggap sebagai ruas terpendek imajiner dan simpul yang dihubungkan oleh ruas ini kemudian dipilih sebagai simpul asal baru (lihat Gambar 1).



Gambar 1. Proses Pelacakan Rute Terpendek

Sebelum melanjutkan proses yang sama, dilakukan pengujian apakah dari simpul terpilih tersebut ada ruas yang menghubungkannya dengan simpul yang lain, bila terpenuhi maka proses pelacakan berhenti, bila sebaliknya, maka dilakukan pengujian apakah dari simpul terpilih tersebut ada ruas yang menghubungkannya dengan simpul yang lain, bila terpenuhi maka proses pelacakan dilanjutkan.

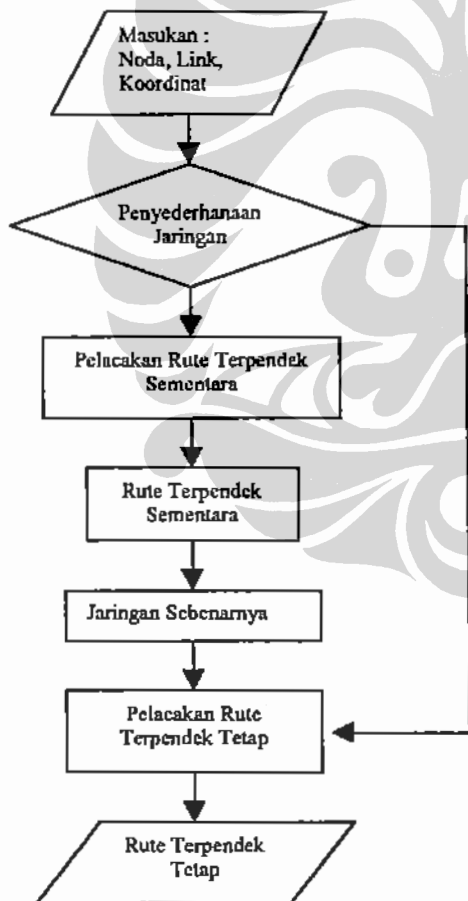
Bila tidak ada ruas yang keluar dari simpul terpilih, maka simpul tersebut merupakan simpul akhir dan apabila simpul tersebut bukan simpul tujuan berarti simpul tersebut tidak terhubung dengan simpul tujuan.

Bila kondisi ini terjadi, maka kembali ke simpul sebelum simpul terpilih ini dan dipilih simpul dengan sudut kedua terkecil sebagai simpul asal yang baru dan proses yang sama diulangi kembali. Pada jaringan yang sangat besar dan kompleks serta adanya kecenderungan dari simpul-simpul untuk berkelompok, maka untuk mempercepat proses pelacakan dan bila kondisi memungkinkan, jaringan dapat disederhanakan dengan mengelompokkan simpul yang saling berdekatan menjadi suatu kesatuan, kemudian menentukan suatu simpul pusat dari kelompok simpul tersebut sebagai simpul representatif. Karena syarat proses pelacakan adalah adanya

ruas yang menghubungkan simpul, maka simpul yang terdekat dengan simpul pusat kelompok dipilih sebagai simpul representatif. Dari hasil proses pelacakan, akan didapat suatu rute terpendek yang bersifat sementara. Kemudian proses ini diulangi kembali dengan menguji semua simpul yang dilalui oleh rute sementara tersebut yaitu dengan mengembalikan bentuk jaringan asli, sehingga didapat rute terpendek yang sebenarnya. Secara lebih spesifik langkah pelacakan dapat dijelaskan pada algoritma berikut.

3.2. Algoritma Pelacakan Rute Berbasis Kognitif

Konsep pelacakan rute di atas perlu diformalkan ke dalam modul-modul atau algoritma untuk langkah implementasi dan pemrograman komputer. Diagram alir dari modul-modul tersebut dapat dilihat pada Gambar 2, yang terbagi menjadi dua (2) modul besar yaitu : a) Algoritma Pengelompokan Simpul atau penyederhanaan jaringan, dan b) Algoritma Pelacakan Rute.



Gambar 2. Proses Penentuan Rute Berbasis Kognitif

• Algoritma Penyederhanaan Jaringan

Tahap 1: Penentuan syarat batas pengelompokan

$$\Delta x, \Delta y \rightarrow f(N, A) \dots\dots\dots (1)$$

dimana,

Δx = batas selisih jarak absis antara 2 simpul

Δy = batas selisih jarak ordinat antara 2 simpul

$N = \{\text{simpul}\}$

$A = \{\text{ruas}\}$

Tahap 2: Penentuan kelompok

$$\Delta x_{ij} \quad \forall j, j \neq i \cap I_{ij} \in \{lkout(i)\} \dots\dots\dots (2)$$

Δy_{ij}

dimana,

$\{lkout(i)\}$ = semua ruas yang keluar dari simpul i

$$|\Delta x_{ij}| < \Delta x \cap |\Delta y_{ij}| < \Delta y \rightarrow j \in k_m, m = 1, 2, \dots, n \dots\dots\dots (3)$$

$$\begin{aligned} &|\Delta x_{ij}| < \Delta x \cap |\Delta y_{ij}| > \Delta y \\ &|\Delta x_{ij}| > \Delta x \cap |\Delta y_{ij}| < \Delta y \rightarrow j \notin k_m, m = 1, 2, \dots, n \\ &|\Delta x_{ij}| > \Delta x \cap |\Delta y_{ij}| > \Delta y \end{aligned} \dots\dots\dots (4)$$

dengan,

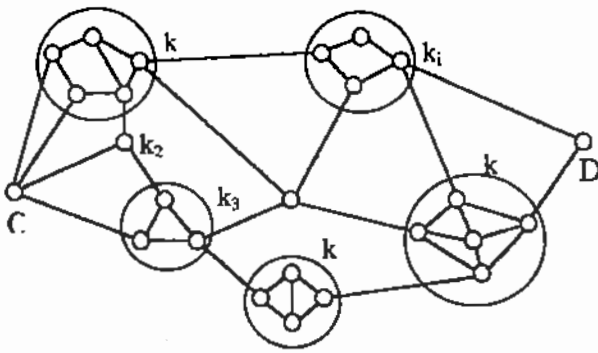
$$k_m = \{(x, y) \quad \forall i \in \{m\} \dots\dots\dots (5)$$

k_m = kelompok ke m

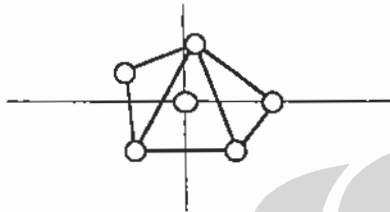
Tahap 3: Penentuan simpul pusat tiap kelompok dengan metoda titik berat

Tahap 4: Penyederhanaan bentuk jaringan

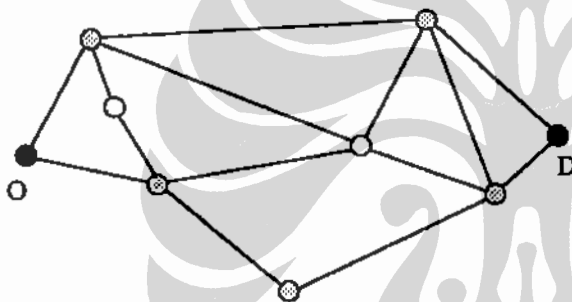
Proses ini secara lebih jelas dapat ditelusuri dengan melihat pada Gambar 3a, 3b dan 3c.



Gambar 3a. Pengelompokan Simpul pada Jaringan



Gambar 3b. Penentuan Titik Berat Kelompok



Gambar 3c. Jaringan yang Telah Disederhanakan

• **Algoritma Pelacakan Rute**

Tahap 1: Penentuan titik asal & tujuan

$$O = (x_o^*, y_o^*); D = (x_D^*, y_D^*)$$

$$x_o = x_o^*; y_o = y_o^* \dots\dots\dots (6)$$

$$N = \phi, DPNT(N) = 0$$

dimana,

- O = simpul asal
- D = simpul tujuan
- DPTN(N) = vektor penunjuk simpul pada langkah ke N

Tahap 2: Perhitungan jarak imajiner

$$I_{OD} = \sqrt{(x_D - x_o)^2 + (y_D - y_o)^2} \dots\dots (7)$$

dimana,

I_{OD} = garis lurus imajiner antara titik simpul dan simpul tujuan

Tahap 3: Penentuan ruas antara

$$l_{OK} = \min_k \{ \angle DOK \} \forall OK \in \{lkout(O)\} \dots\dots\dots (8)$$

dimana,

l_{OK} = ruas yang menghubungkan simpul O & K

Tahap 4: Kriteria henti

jika $x_k = x_D \cap y_k = y_D \rightarrow stop$
 $N = N + 1; O = K$

sebaliknya, $x_o = x_k; y_o = y_k$
 $DPTN(N) = K$

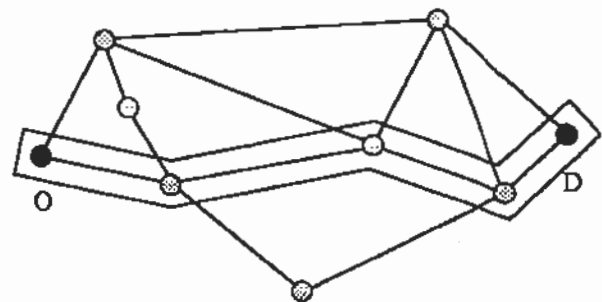
Tahap 5: Penentuan arah pelacakan

jika $\{lkout(O)\} \neq \{\theta\} \rightarrow$ tahap 2
 sebaliknya \rightarrow tahap 6

Tahap 6: Eliminasi ruas

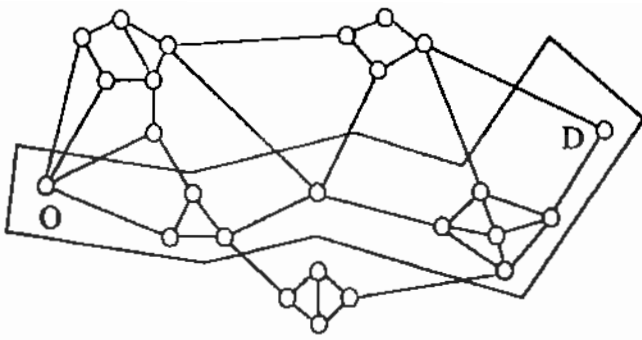
Hilangkan $l_{OK}; N = N + 1; O = DPTN(N) \rightarrow$
 tahap 3

Bila proses pelacakan selesai, maka didapat rute terpendek dari simpul asal O ke simpul tujuan D. Bila dilakukan proses pengelompokkan maka algoritma pelacakan rute terpendek dilakukan kembali pada jaringan yang sebenarnya akan tetapi hanya pada simpul-simpul yang dilalui oleh rute terpendek sementara saja. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 4a dan 4b.



Gambar 4a. Rute Terpendek Sementara (dari gambar 3c.)

3. Van Vliet, D., 1991, Road Assignment – I-II, *Transportation Research* 10(3), pp. 137-149.



Gambar 4b. Pelacakan Ulang pada Rute Sementara (dari gambar 3a)

4. KESIMPULAN

Pada makalah ini telah dibahas konsep proses daya penalaran atau kognitif manusia dalam menentukan rute terpendek pada suatu sistem jaringan transportasi. Untuk dapat diimplementasikan dalam bentuk program komputer, proses penalaran ini perlu dipilah-pilah menjadi beberapa tahapan proses, yaitu proses penentuan keterkaitan simpul, penyederhanaan jaringan, pembatasan proses pelacakan dan, proses pelacakan rute terpendek. Meskipun algoritma dirumuskan untuk satu simpul asal menuju satu simpul tujuan (single O – Single D), namun proses dapat diulangi untuk seluruh pasangan O-D. Hal ini, secara lebih ekstensif, akan lebih serasi dengan komputer berbasis paralel prosesor.

Untuk tahap perumusan yang lebih jauh dan mencakup aspek praktis dalam pilihan rute, maka keterkaitan waktu perjalanan terhadap jumlah arus kendaraan dapat dirumuskan secara langsung dengan berasumsi pada jarak imajiner sebagai fungsi jumlah arus pada ruas yang dimaksud. Melalui transformasi waktu ke jarak, maka algoritma yang telah dirumuskan dalam tulisan ini selanjutnya dapat digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Roy, T, 1985, *Traffic Assignment Techniques*, Avebury Technical, The Academic Publishing Group.
2. Sheffi, Y, 1985, *Urban Transportation Networks: Equilibrium Analysis with Mathematical Programming Methods*, Prentice-Hall Inc.